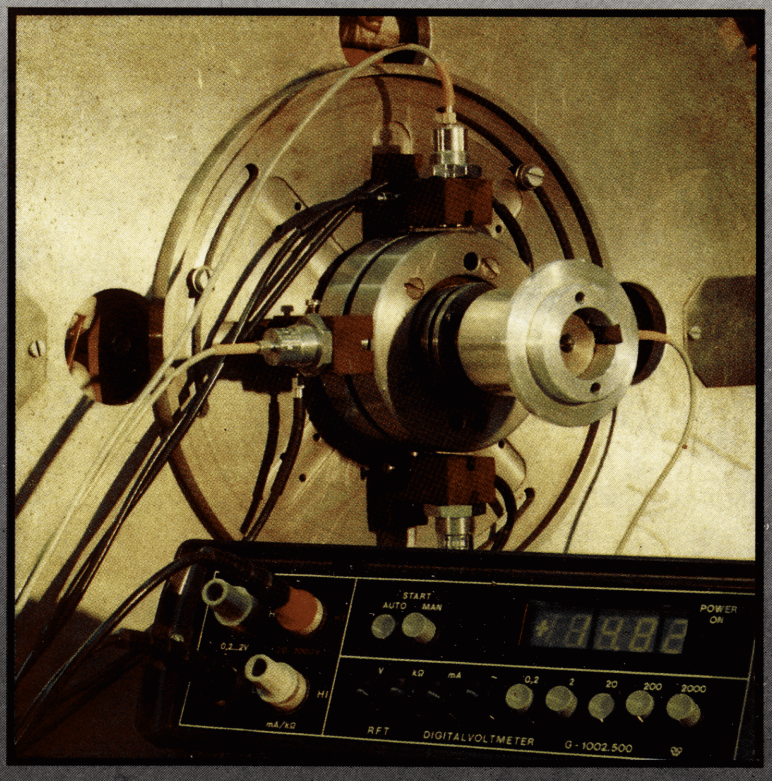
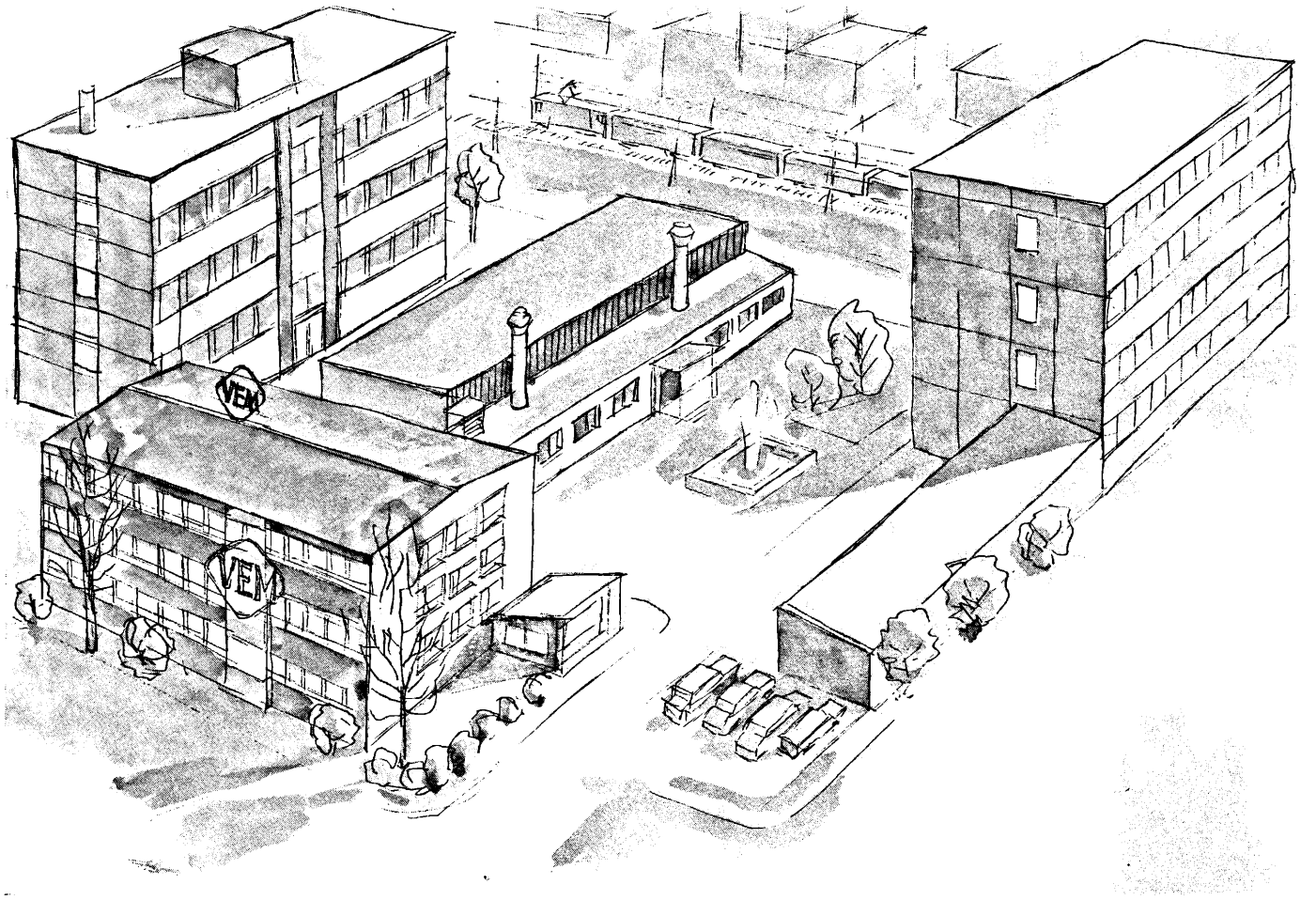
ELEKTRIE 6|90

VEB VERLAG TECHNIK BERLIN · Postverlagsort für DDR Leipzig · EVP 2,50 Mark · ISSN 0013—5399



Anwendung eines Beschleunigungssensors

0120236



Das FORSCHUNGS-ZENTRUM DRESDEN der VEM-Antriebs-technik AG bietet

Entwicklung von Spezialmotoren
von kleinsten bis zu maximalen Leistungen von etwa 100 kW sowie entsprechender

Produktion von Kleinserien

Entwicklung und Produktion von Sonderausrüstungen und Werkzeugen des Elektromaschinenbaus

Projektierung von Antriebslösungen und Bereitstellung von Projektierungsmitteln des Systems **VEM** prodrive

Forschungsleistungen zum Einsatz neuer Werkstoffe im Elektromaschinenbau

Jede Art von Prüfungen an Elektromotoren und ihren Bauteilen

Die Forscher und Entwickler eines großen Elektromaschinenherstellers arbeiten gern für den Fortschritt der Antriebstechnik, der stets anwendungsnah und problembezogen vor Ort errungen wird.

VEM®

Forschungszentrum im
VEM-Sachsenwerk Dresden
GmbH

Breitscheidstr. 78
8045 Dresden

Telex: 2403
Telefon: 2245 385
Herr Nitzsche
2245 429
Herr Kühnel

6|90 ELEKTRIE

44. Jahrgang

Wissenschaftlich-technische Zeitschrift der Elektrotechnik

ISSN 0013-5399

Organ des Fachverbands Elektrotechnik der Kammer der Technik

Redaktionsbeirat

Vorsitzender:

Prof. Dr. sc. techn. J. Vogel

Mitglieder:

Prof. Dr. sc. techn. S. Altmann · Prof. Dr. sc. techn. H. Böhme · Prof. Dr. sc. techn. Dr. h. c. P.-K. Budig · Dr. sc. techn. G. Burkhard · Dr.-Ing. D. Flügge · Obering. K. Friedel · Prof. Dr. sc. techn. J. Hoffmann · Dipl.-Ing. H. Kabisch · Prof. Dr.-Ing. habil., Dr. e. h. R. Lappe · Dr. rer. nat. K. Möbius · Prof. Dr. sc. techn. E. Muschick · Prof. Dr. sc. techn. V. Pfeiler · Prof. Dr.-Ing. e. h. K. Pommer · Prof. Dr.-Ing. habil. R. Schönfeld · Obering. Dipl.-Ing. N. Wass · Prof. Dr.-Ing. habil. G. Wunsch

Korrespondenten:

Dr.-Ing. K. Hännella, Ilmenau · Dr.-Ing. W. Jordan, Dresden

Inhalt

Seite

Aktuelle Information 202

Fachaufsätze

Budig, P.-K.; Chrapko, P.

Zur Anwendung eines Beschleunigungssensors in Antriebssystemen 205

Funke, H.

Beanspruchung der Synchronmaschine im Asynchronbetrieb Teil II: Synchronmotoren 207

Haase, C.; Clemens, H.

Modellierung von Netzvorgängen zur rechnergesteuerten Schutzprüfung mit dynamischen Größen 210

Gallas, W.

Quantitative Zuverlässigkeitsbewertung von Belastungsverhältnissen im Bereich streuender Stehvermögungswerte 213

Heilmann, P.-W.; Langer, W.

Arbeitsbereich und Auswahl der Nennleistung bei Staubsaugern 217

Schult, U.; Thomae, M.

Kollektorloser Gleichstrommotor für einfache Antriebe hoher Lebensdauer 219

Schult, U.

Flacher Gleichstrommotor für Elektrohaushaltsgeräte 224

Umschau

Fachtagungen 227

Kurzberichte 229

Aus anderen Zeitschriften 234

Dissertationen 236

Patente 237

Bücher 238

Titelbild

Unser Bild zeigt eine Versuchsanordnung für die Anwendung eines Beschleunigungssensors in Betriebssystemen.

VERLAG TECHNIK BERLIN

AKTUELLE INFORMATION

Partner des Fortschritts

28. Import Messe Berlin 1990

Zeit: 29. August bis 1. September 1990
Ort: Berlin
Veranstalter: Ausstellungs-Messe-Kongress-GmbH

Auf der Import-Messe Berlin werden jetzt Exporteure aus Mittel-, Ost- und Südosteuropa dem europäischen Importhandel Erzeugnisse vorlegen, die sich nach eigener Einschätzung für exportfähig halten oder testen wollen. In ihrer jetzigen Konzeption bietet diese Messe eine optimale Vergleichsmöglichkeit der exportorientierten Wettbewerber aus aller Welt für den Importhandel Europas.

Anfragen

Ausstellungs-Messe-Kongress-GmbH
Postfach 191740
Messedamm 22
D-1000 Berlin 19
Die Redaktion EK 4247

Die elektrische Energieversorgung in den 90er Jahren

Vortragsveranstaltung

Zeit: 26. und 27. September 1990
Ort: Aachen (RWTH)
Veranstalter: Forschungsgesellschaft Energie an der RWTH Aachen e.V.

Inhaltliche Schwerpunkte

- Die elektrische Energieversorgung Europas in den 90er Jahren
- — Die elektrische Energieversorgung — ein Evolutionsprozeß
- — Der Energie-Binnenmarkt der Gemeinschaft unter besonderer Berücksichtigung des Elektrizitätssektors
- — Die Stromversorgung in der Bundesrepublik Deutschland im Spannungsfeld zwischen energiepolitischen Zielvorstellungen und ihrer praktischen Bewährung
- — Die Großverbundsysteme in Europa — Fakten und Grenzen
- — Kooperationsmöglichkeiten zwischen Elektroverbundsystemen in West- und Osteuropa
- — Netzentwicklung im Wandel technischer und politischer Randbedingungen
- Die elektrische Energieversorgung der Bundesrepublik vor Ort
- — Rechtliche Determinanten örtlicher Energieversorgung
- — Die Energieversorgung der Gemeinden im Wandel
- — Die Entwicklung der regionalen elektrischen Energieversorgung der Niederlande
- — Kraft-Wärme-Kopplung und Photovoltaik: Konkurrenz oder Ergänzung?
- — Qualität der Spannungs- und Frequenzregelung im Vergleich von Großverbund- und Inselsystemen
- — Aufgaben der städtischen Energieversorgung
- — Kommunale Versorgung und Verbundwirtschaft

Anfragen

Forschungsgesellschaft Energie an der RWTH Aachen e.V.
Schinkelstraße 6
D-5100 Aachen
Telefon: (0241) 80-7653
Telefax: (0241) 80-7684
Die Redaktion EK 4255

FAWEM 90

Fachausstellung für Werkzeugmaschinen und Werkzeuge

Zeit: 26. September bis 3. Oktober 1990
Ort: Basel — Schweizer Mustermesse

Technologie-Präsentation von Werkzeugmaschinen und Werkzeugen, von modernsten Mitteln und Methoden der Fertigungs- und Betriebstechnik, scherpunktartig im Bereich der spanabhebenden und umformenden Bearbeitung, bei Prüf- und Meßsystemen und bei einem kompletten Zubehörprogramm

Anfragen

Verband des Schweizerischen Maschinen- und Werkzeughandels (VSMWH)
Sekretariat Fawem 90
CH-4021 Basel
Telefon: 061/6862020
Telefax: 061/6920617
Telex: 962685 smm-ch
Die Redaktion EK 4256

Power Quality

Erste europäische Power-Quality-Konferenz

Zeit: 12. bis 15. November 1990
Ort: Paris
Zu diesem Zeitpunkt und in der gleichen Halle findet die internationale Ausstellung „elco '90" statt.

Weitere Informationen erhalten Sie von

INCOM Zieroth & Partner GmbH
Kleinreuther-Weg 58
D — 8500 Nürnberg 10
Telefon 0911/36888
Telefax 0911/364522
Die Redaktion EK 4178

ELEKTROTECHNOLOGIJA

3. Internationale Fachausstellung „Technologische Ausrüstungen für die Herstellung elektrotechnischer Erzeugnisse"

Ort: Moskau
Zeit: 22. bis 29. November 1990

Auf der Ausstellung werden vorgestellt technologische Ausrüstungen für die Herstellung von elektrischen Maschinen, Transformatoren, elektrischen Niederspannungs- und Hochspannungsapparaturen, Stromquellen, Leitungen und Kabeln, Kondensatoren, Geräten der Leistungselektronik, elektrischen Lampen und Anlagenerzeugnissen, elektrokeramischen, metallkeramischen und Elektrokohle-Erzeugnissen, Leiterplatten, elektrothermischen Anlagen, elektrotechnischen Materialien wie Isolations-, Magnet-, Leitermaterialien für Formungs- und Bandagearbeiten sowie Technologien zur Verarbeitung von Abfällen aus elektrotechnischer Produktion. Weiterhin ist die Vorstellung der neuesten Industriezweigausrüstungen für die Herstellung und Reparatur elektrotechnischer Erzeugnisse geplant.
Zur Teilnahme an der Ausstellung sind Länder und Firmen eingeladen, die über Ergebnisse auf dem Gebiet der Entwicklung und Herstellung moderner technologischer Ausrüstungen, Werkzeuge und Zubehör verfügen.

Anfragen

Moskau 107113
Sokolnitscheskij Val 1a
Vsesojusnoje objedinjenije „Expozentr"
Die Redaktion EK 4118

Flexible Automatisierung für die Fertigung

Jahrestagung der WGMA

Zeit: 5. und 6. Dezember 1990
Ort: Erfurt, Haus der DSF
Veranstalter: Wissenschaftlich-Technische Gesellschaft für Meß- und Automatisierungstechnik

Inhaltliche Schwerpunkte

- — Stand und Perspektiven bei Komponenten und Systemen unter dem Aspekt des Informationsflusses
- — CNC, SPS, Roboter- und Transportsteuerungen
- — Leitrechner, Leitstandstechnik
- — Strukturfragen bei CIM-Lösungen zur Gewährleistung von Flexibilität, Qualitätssicherung

Anfragen

Kammer der Technik
Präsidium — WGMA
PSF 1315
Berlin
1086
Die Redaktion EK 4187

Grundlagen der Modellierung und Simulationstechnik

19. Jahrestagung

Zeit: 18. bis 20. Dezember 1990
Ort: Rostock
Wilhelm-Pieck-Universität
Veranstalter: Wissenschaftlich-Technische Gesellschaft für Meß- und Automatisierungstechnik

Inhaltliche Schwerpunkte

- — Grundlagen der Simulation, Applikation
- — Simulation räumlich verteilter Systeme
- — Simulation für den Schaltkreisentwurf
- — Modellierung und Simulation in der Wasserwirtschaft
- — Simulation und neuronale Netze

Anfragen

Kammer der Technik
Präsidium — WGMA
PSF 1315
Berlin
1086
Die Redaktion EK 4188

Hochspannungsisolierungen unter Fremdschichtbelastung

11. KDT-Fachkolloquium Elektroenergieversorgung

Zeit: 14. und 15. November 1990
Ort: Zittau
Veranstalter: KDT-Fachsektion Elektroenergieversorgung der TH Zittau gemeinschaftlich mit dem KDT-Fachausschuß „Isolationsfragen"

Inhaltliche Schwerpunkte

— Grundlagen und Modellvorstellung zum Überschlag verschmutzter bzw. vereister Isolatoren
— Fremdschichtgerechte Dimensionierung von Isolierungen
— Diagnose kritischer Fremdschichtbelastungen und Fremdschichtprophylaxe
— Einsatz von Kunststoffisolatoren unter Verschmutzungsbedingungen

Anmeldung

bis zum 15. 10. 1990
Technische Hochschule Zittau
KDT-Fachsektion E
Theodor-Körner-Allee 16
PSF 261
Zittau
DDR — 8800

Auskünfte

Technische Hochschule Zittau
KDT-Fachsektion E
Tel.: Zittau 61314
Zittau 61315

Die Redaktion EK 4229

belektro '90

Fachausstellung für Elektrotechnik

Zeit: 28. November bis 1. Dezember 1990
Ort: Berlin
Veranstalter: Ausstellungs-Messe-Kongress-GmbH

Es werden präsentiert

— Elektroinstallationstechnik
— Energieerzeugung
— Energieumwandlung und -speicherung
— Energieverteilung und -fortleitung
— Hausleittechnik
— Lichttechnik
— Meß-, Steuerungs- und Regelungstechnik
— Werkzeuge
— Betriebs-, Lager- und Montageausstattung

Anfragen

Ausstellungs-Messe-Kongress-GmbH
Postfach 191740, Messedamm 22
D-1000 Berlin 19
Telefon: 030/3038-0

Die Redaktion EK 4252

Mikroelektronik '90

7. Fachtagung

Zeit: 12. bis 13. Dezember 1990
Ort: Dresden
Veranstalter: Fachverband Elektrotechnik in der Kammer der Technik; Wissenschaftliche Sektion „Bauelemente der Elektrotechnik/Elektronik"

Die Fachtagung hat das Ziel, zur Entwicklung der Elektrotechnik/Elektronik unter den spezifischen Bedingungen der marktwirtschaftlichen Anforderungen an die Mikroelektronik zu informieren. Im Vordergrund stehen die Aufgaben der Automatisierung von Prozessen der Produktionsvorbereitung und Durchführung.

Inhaltliche Schwerpunkte

- Internationaler Stand der Anwendung der Mikroelektronik sowie technische und wirtschaftliche Perspektiven ihrer Entwicklung
- Information zur Entwicklung und Anwendung moderner elektronischer Bauelemente, insbesondere zu
  — Mikroprozessor-Lösungen einschließlich Einchip-Mikrorechner
  — Entwicklung und Produktion von kundenspezifischen integrierten Schaltkreisen
  — Technologische Vorbereitung und Anwendung von SMD-Bauelementen
  — Erfahrungen mit der Hybrid-Mikroelektronik
  — Sensoren und ihre Einsatzmöglichkeiten
- Automatisierung technologischer Prozesse einschließlich Meß- und Prüftechnik
  — Erfahrungen mit CAD/CAM-Arbeitsstationen in der Phase der Produktionsvorbereitung
  — Einsatzerfahrungen mit komplexen Automatisierungslösungen und rechnergestützte Meß-, Steuer- und Regelungssysteme
  — Planung und praktische Lösungen von bedienarmen Fertigungsabschnitten (CIM)
- Entwurf und Prüfung mikroelektronischer Erzeugnisse zur Erhöhung der Qualität und Steigerung der Produktivität.

Anfragen

Vortrags- und Teilnahmemeldungen (Termin 15. 08. 1990) sind schriftlich an folgende Anschrift zu richten:
Kammer der Technik
— Präsidium —
Fachverband Elektrotechnik
Clara-Zetkin-Str. 115/117
Berlin
DDR-1086

Die Redaktion EK 4230

Management, Standardisierung und Verfahren der Zuverlässigkeitstechnik

10. Zuverlässigkeitstagung

Zeit: 5. und 6. Juni 1991
Ort: Leipzig
Veranstalter: Fachverband Elektrotechnik in der Kammer der Technik, Wissenschaftliche Sektion Qualitätssicherung und Zuverlässigkeit

Inhaltliche Schwerpunkte

- Management zur Qualitätssicherung
  — Internationale Trends
  — Firmenkonzepte
  — Information und Schulung
- Stand und Tendenzen der Standardisierung
  — Zuverlässigkeitssicherung
  — Umgebungseinflüsse
- Verfahren der technischen Zuverlässigkeit:
  — Theorie
  — Entwurf und Methodik
  — Fertigung und Prozeßüberwachung
  — Funktions- und Umgebungsprüfung

Anfragen

Teilnahmemeldungen und Vortragsanmeldungen (Termin für die Entgegennahme: 15. 9. 1990) sind schriftlich zu richten an
Kammer der Technik
Präsidium
Fachverband Elektrotechnik
Clara-Zetkin-Str. 115/117
Berlin
DDR-1086

Die Redaktion EK 4237

7th International Symposium on high voltage Engineering (ISH '91)

Zeit: 26.—30. August 1991
Ort: Dresden
Veranstalter: Technische Universität Dresden

Auf dem 7. Internationalen Symposium Hochspannungstechnik sollen die neuesten Erkenntnisse der Hochspannungstechnik dargestellt und diskutiert werden. Damit wird die Tradition der vorangegangenen Symposium in München (1972), Zürich (1975), Mailand (1979), Athen (1983), Braunschweig (1987) und New Orleans (1989) fortgesetzt.

Themenkomplexe

1. Electric Field — Calculation and Measurement
2. Solid an Liquid Dielectrics and Insulations
3. Gaseous Dielectrics and Compressed-Gas Insulations, Vacuum
4. Air Breakdown, Outdoor Insulation, Pollution
5. HV Testing Equipment and Procedures
6. HV Measuring Techniques
7. PD Measurements and Diagnosis
8. Lighting, Fast Transients, EMC
9. Special Problems: Electrostatics, Precipitators, Biological HV Effects

Neben den wissenschaftlichen Veranstaltungen sind geplant:

— eine Ausstellung von Erzeugnissen der Hochspannungs-Prüf- und -Meßtechnik, einschließlich der Diagnosetechnik
— technische Exkursionen
— Programm für Begleitpersonen

Konferenzsprache: Englisch
Meldeschluß
für Beiträge: 15. September 1990

Anfragen

ISH'91 — Prof. *Mosch*
Technische Universität Dresden
Sektion Elektrotechnik
Mommsenstraße 13
Dresden
8027

Die Redaktion EK 4087

Mediadaten

der Fachzeitschrift ELEKTRIE

erhalten Sie auf Anforderung direkt von der Redaktion, Telefon: 2870344.

Die Redaktion

The Fourth International Conference on Electric Fuses and their Applications, ICEFA 91

Zeit: 23. bis 25. September 1991
Ort: Nottingham (United Kingdom)
Veranstalter: Department of Electrical and Electronic Engineering, University of Nottingham

Die alle vier Jahre stattfindenden ICEFA-Konferenzen bieten den führenden Fachleuten sowie den Anwendern ein internationales Forum für die Diskussion neuester Entwicklungen und für die Erschließung neuer Anwendungsfälle.
Das Programm der ICEFA 91 beinhaltet zum einen die Diskussion von Themen, die für Hersteller und Anwender von Hochspannungs-, Niederspannungs- und Geräteschutzsicherungen von allgemeinem Interesse sind. Zum anderen wird über neueste Forschungs- und Entwicklungsarbeiten zur weiteren Verbesserung und Leistungssteigerung von Sicherungen berichtet. Die Konferenz bietet somit eine ausgezeichnete Gelegenheit, die Kenntnisse über Sicherungen auf den neuesten Stand zu bringen.

Inhaltliche Schwerpunkte

- Anwendungen
  - — Anwenderprobleme beim Schutz
  - — Koordination mit Stromkreisen
  - — Sicherung und andere Schaltgeräte
  - — Halbleiterumrichter
  - — Energietechnik: Motoren, Transformatoren, Kondensatorbatterien
  - — Elektronische Systeme einschließlich Telekommunikation und Büromaschinen
- Neue Entwicklungen
  - — Neue Arten von Sicherungen
  - — Trends bei Sicherungen
  - — Künftige Schutzkonzepte bei Hochspannung einschließlich Ganzbereichssicherungen
  - — Kleinstsicherungen für gedruckte Schaltungen (PCB-, SMD- und UMF-Technologien)
- Konstruktion, Prüfverfahren und Normen
  - — CAD-gestützte Entwicklung, Konstruktion und Fertigung
  - — Werkstoffe und Herstellungsverfahren
  - — Qualitätssicherung und Zuverlässigkeit
  - — Zusammenhang zwischen 3-phasigen und 1-phasigen Prüfkreisen
  - — Entwicklung von Normen einschließlich Zeit-Strom-Charakteristik
- Physik der Sicherungen
  - — Vorgänge in Sicherungen: Schmelzvorgang, Lichtbogenentstehung, Lichtbogenverhalten
  - — Erwärmungsvorgänge: Stationäres Verhalten, transientes Verhalten, zyklische Belastung, Vorgänge beim Einschalten

Vortragsanmeldungen zu den genannten Themenkreisen werden in Form einer kurzen Übersicht (maximal eine DIN-A-4-Seite) bis zum 1. Juni 1990 an den Leiter des Organisationskomitees erbeten. Die Kurzfassung sollte die wesentlichen Gesichtspunkte des Vortrages beinhalten. Die Autoren der angenommenen Beiträge werden im Juli 1990 benachrichtigt. Termin für die Abgabe des vollständigen maschinengeschriebenen Manuskriptes (maximal 6 Seiten zweispaltig DIN A 3, etwa 4800 Worte, einschließlich der Bilder) ist der 21. Januar 1991.

Anfragen

Dr. *A. F. Howe*
ICEFA 91 Organising Committee Chairman
Department of Electrical and Electronic Engineering
University of Nottingham
University Park
Nottingham
NG7 2RD
United Kingdom

Die Redaktion EK 4171

IMECO TC 10

8. Internationales Symposium
Technische Diagnostik

Zeit: 24. bis 26. September 1992
Ort: Berlin (Palast-Hotel)
Veranstalter: Wissenschaftlich-Technische Gesellschaft für Meß- und Automatisierungstechnik in der Kammer der Technik der DDR und der Technischen Hochschule Zittau

Leitthema

Neue Methoden und Technologien der Diagnostik und Diagnosesysteme

Themen

- — Theorie und Algorithmen der Technischen Diagnostik
- — Neue Meßgeräte der Technischen Diagnostik
- — Diagnostik für rotierende Maschinen
- — Diagnosesysteme
- — Computereinsatz in der Instandhaltung und Expertensysteme

Termine

Vortragsanmeldungen, Kurzfassung	30. 09. 1991
Einladungen und Vortragsbestätigungen	28. 02. 1992
Übergabe der kompletten Vortragsmanuskripte	30. 03. 1992

Anfragen

Präsidium der Kammer der Technik
WGMA — TD
PSF 1315
Berlin
DDR — 1086
Telex: 0114841 techkammer dd
Telefon: 2265218 oder 2265304

Die Redaktion EK 4179

VDI-Richtlinien ab sofort in der DDR erhältlich

Mit Gründung der Vereinigung „Verein Deutscher Ingenieure — Gliederung DDR" am 11. März 1990 in Leipzig sind jetzt auch die VDI-Richtlinien in der DDR erhältlich.

Die VDI-Richtlinien sind ein wesentlicher Bestandteil des deutschen technischen Regelwerkes. Sie sind konkrete Arbeitshilfen für den im Beruf stehenden Ingenieur. Die Richtlinien stellen technische Sachverhalte praxisbezogen dar und dokumentieren den Stand von Wissenschaft und Technik.

VDI-Richtlinien sind in Handbüchern zusammengefaßt. Folgende Handbücher liegen vor:

- — Betriebstechnik
- — Energietechnik
- — Feinwerktechnik
- — Getriebetechnik I und II
- — Heizungstechnik
- — Konstruktion
- — Kunststofftechnik
- — Lärmminderung
- — Lüftungstechnik
- — Materialfluß und Fördertechnik
- — Meßtechnik I und II
- — Regelungstechnik
- — Reinhaltung der Luft
- — Schwingungstechnik
- — Technische Zuverlässigkeit
- — Bürokommunikation
- — Sprache und Technik
- — Landtechnik
- — Textiltechnik
- — Verfahrenstechnik
- — Werkstofftechnik

Bestelladresse:

Verlag für Standardisierung
Wallstr. 20
DDR-1020 Berlin

Die Redaktion EK 4258

AEG weitet Forschungsförderung auf ganz Berlin aus

Die AEG erwägt, auch Ost-Berliner Wissenschaftler in ihre Forschungsförderung einzubeziehen. Bei der Verleihung des von dem Elektrokonzern gestifteten Carl-Ramsauer-Preises sagte AEG Vorstandsmitglied *Frank Dieter Maier*, daß vom kommenden Jahr an auch Wissenschaftler der Berliner Humboldt-Universität unter den Preisträgern sein werden. Dazu soll die Zahl der Preisträger — bisher laut Stiftungsurkunden je zwei der FU und TU Berlin — von vier auf sechs und die Preissumme von 40000 auf 60000 DM erhöht werden.
Das Preiskomitee, das sich zur Zeit aus je zwei Vertretern der FU, TU und der AEG zusammensetzt, soll entsprechend erweitert werden. Die beiden Präsidenten der Westberliner Universitäten, Prof. *Fricke* und Prof. *Heckelmann*, begrüßen diese Ausweitung.
Der Preis, mit dem die AEG junge Forscher der West-Berliner Universitäten für hervorragende Arbeiten auszeichnet, wird damit zum ersten Gesamtdeutschen Forschungsförderungspreis. *Frank Dieter Maier* begründete die Einbeziehung der Humboldt-Universität mit der Öffnung der Grenzen: „Naturwissenschaftler und Techniker aus beiden Teilen der Stadt sollen die gleichen Chancen auf Förderung erhalten".
Der Forschungspreis ist nach dem ersten Leiter des AEG Forschungsinstituts, Prof. *Carl Ramsauer*, benannt, einem bedeutenden Experimentalphysiker. Der von ihm entdeckte „Ramsauer-Effekt" war der erste Nachweis der Wellennatur des Elektrons.

Die Redaktion EK 4259

Zur Anwendung eines Beschleunigungssensors in Antriebssystemen

P.-K. Budig, KDT; P. Chrapko; Karl-Marx-Stadt

Es gibt eine Tendenz, den Regelungsbereich der Vorschubgeschwindigkeit moderner Werkzeugmaschinen zu erweitern [1] [5]. Außerdem existieren z.Z. die Höchstmomentelektromotoren, mit denen die Einsparung von mechanischen Getriebestufen möglich würde [2]. Dabei geht es um außerordentlich niedrige Vorschubgeschwindigkeiten oder Drehzahlen des Motors. Wie die Praxis zeigt, haben traditionelle Geschwindigkeits-Kontrollsysteme (z.B. mit Tachogeneratoren oder Impulsgebern) in niedrigen Bereichen meistens größere Informationsverluste. Das ist verbunden mit ungenügender Genauigkeit durch Kommutierungsstörungen und niedrigem Niveau des Ausgangssignals bei Tachogeneratoren, auch durch große Abstände zwischen den Impulsen des inkrementalen Lagegebers, mit denen gewöhnlich automatisierte Antriebe ausgerüstet werden.
Eine neue Methode, die im Institut für Werkzeuge und Werkzeugmaschinen in Moskau (MOSSTANKIN) unter Leitung von Prof. *O. P. Michailow* entwickelt wurde, besteht in folgendem [3] [5]: Im Antriebssystem gibt es keinen Tachogenerator; statt dessen steht ein zusätzlicher Sensor — Beschleunigungssensor (Accelerometer) — zur Verfügung. Das Ausgangssignal des Sensors kommt an einem Integrator an, und das Integratorsignal überträgt die gesamte Information über Vorschubgeschwindigkeit bzw. Drehzahl.
Es ist jedoch die bekannte Schwierigkeit des langsamen zeitlichen Abgangs (Trend) des Integratorsignals und damit des Geschwindigkeitsmittelwertes zu beachten. Das führt dazu, daß eine ständige Korrektur nötig ist, die mit dem schon traditionell zur Verfügung stehenden Impulslagegeber durchgeführt wird. Ein ähnliches Prinzip wird in der Flugzeugnavigation benutzt.
Bei der Anwendung von Beschleunigungssensoren in Rückkopplungssystemen genügen bereits einfache, billigere Impulslagegeber mit einer geringeren Anzahl von Skalenwerten den Anforderungen. Es ist möglich, hier Mikrorechnersysteme zu nutzen. Bild 1 zeigt eine vereinfachte Prinzipschaltung.

1. Simulation des Antriebssystems mit b-Geberrückkopplung

Bild 2 demonstriert die Drehzahlregelung mit b-Geberrückkopplung. Die Übertragungsfunktion des Beschleunigungssensors ist

$$G_B(p) = \frac{V_B}{T_B^2 p^2 + 2\beta T_B + 1} \tag{1}$$

V_B Verstärkungsfaktor des Meßwandlers
T_B Zeitkonstante des Beschleunigungssensors
β Dämpfungsfaktor des beweglichen Systems des Beschleunigungssensors.

Durch außerordentlich geringe Auswertfehler des digitalen Integrators kann man den Integrationsprozeß als ideal bezeichnen.
Wird der Stromreglerkreis dem Betragsoptimum angepaßt, ist die Übertragungsfunktion des geschlossenen Kreises

$$G_S(p) = \frac{1/V_I}{2\tau^2 p^2 + 2\tau p + 1} \tag{2}$$

τ Summe der parasitären Zeitkonstanten der Regelstrecke.
Falls der Drehzahlregler proportionales Verhalten hat, ergibt sich die Störungsübertragungsfunktion des Antriebs zu

$$G_m(p) = \frac{1}{J \cdot p + G_B \cdot G_D \cdot G_S \cdot k_M}. \tag{3}$$

Damit gilt für stationäre Zustände folgende Belastungscharakteristik

$$\frac{m}{\Delta\Omega} = \frac{V_B V_D k_M}{V_I} = \frac{k_e T_B^2 V_D k_M}{V_I}. \tag{4}$$

Wenn man also unter den Bedingungen des P-Reglers die Zeitkonstante T_B steigern will, so ist das mit bestimmten Einschränkungen für die b-Geberkonstruktion verbunden. Diese Begrenzung kann durch die Anwendung des PI-Reglers beseitigt werden.
Für die richtige Auswahl des Verstärkungsfaktors V_B muß noch die Bedingung erfüllt werden

$$V_B = V_{TM} \tag{5}$$

V_{TM} Übertragungsfaktor des Rückkopplungskreises, der dem Drehzahlregler angepaßt war.

Um eine Analyse im Zeitbereich durchführen zu können, lassen sich die Zustandsgleichungen auch zusammengefaßt in Vektorform schreiben:

$$\dot{X} = AX + B_U U + B_M M \tag{6}$$

$X, \dot{X}$ Spaltenvektoren der Zustandsgrößen, ihre Änderungen
A Systemmatrix
B_U, B_M Steuer- und Störungsmatrix.

Nach der Lösung von (6) durch einen Computer ergeben sich die Verlaufskennlinien für verschiedene Werte von T_B und β. Bild 3 zeigt die Führungs- und Belastungsverlaufskennlinien (symmetrisches Optimum). Die Analyse zeigt, daß das Verhältnis zwischen der Durchtrittsfrequenz ω_d des Antriebssystems und der Eigenfrequenz des Accelerometers ω_B eine richtige Auswahl der Beschleunigungssensoren erfordert. Bei $\omega_d/\omega_B \geqq 3$ sind die Übergangsfunktionen ähnlich wie die des optimal angepaßten Antriebs. Es ist wichtig, daß der Dämpfungsfaktor, von dem in bedeutendem Ausmaß die Konstruktionskompliziertheit des Sensors abhängt, einen breiten Auswahlbereich — vom Optimalwert $\beta = 1/\sqrt{2}$ bis $\beta = 0{,}1$ — hat. Die Simulation zeigt auch, daß dabei die Reglerstruktur unverändert bleiben kann.

2. Beschleunigungsregler im Antriebssystem

Die höhere dynamische Genauigkeit, die der regelbare Vorschubantrieb der modernen Werkzeugmaschine haben muß, ist durch die Schaffung des gekoppelten Kreises für die Beschleunigungsregelung erreichbar. Wenn man den Stromregler nach Bild 2 durch einen Beschleunigungsregler ersetzt, erhalten wir als Ergebnis einen Gleichstromantrieb mit Drehzahlregelung und unterlagerter Beschleunigungsregelung. Als Übertragungsfunktion des offenen Be-

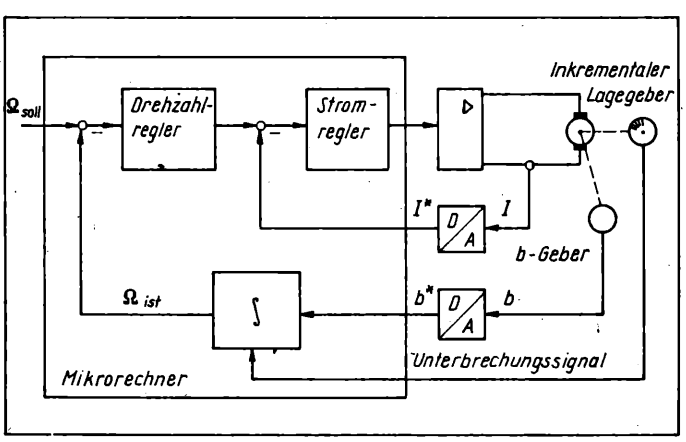
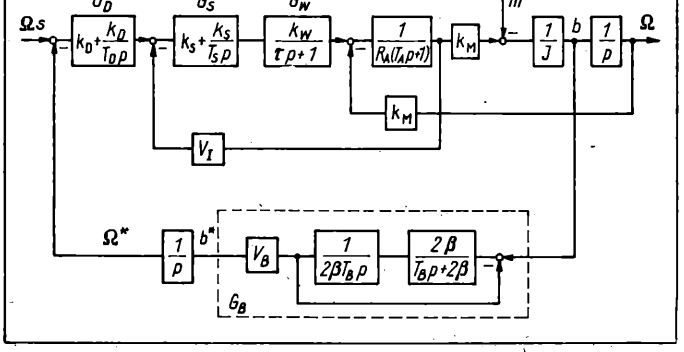


Bild 1. Prinzipschaltung des Antriebs

Bild 2. Signalflußplan der Drehzahlregelung mit der b-Geberrückkopplung



Prof. Dr. sc. techn. Dr. h.c. *Peter-Klaus Budig*, z.Z. der Erarbeitung des Beitrages Dekan der Fakultät für Elektroingenieurwesen der TU Karl-Marx-Stadt, in der Regierung *Modrow* Minister für Wissenschaft und Technik. Dipl.-Ing. *Pawel Chrapko* ist Aspirant an der TU Karl-Marx-Stadt.

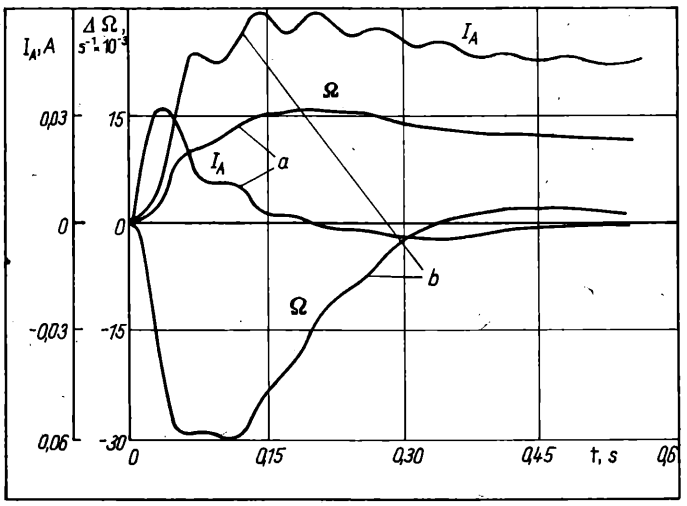


Bild 3. Simulation des Antriebssystems
a Führungsübergangsfunktionen, $\omega_d/\omega_P = 2$, $\beta = 0{,}4$
b Störungsübergangsfunktionen, $\omega_d/\omega_B = 2{,}5$, $\beta = 0{,}2$

schleunigungskreises ergibt sich beim PI-Beschleunigungsregler

$$G_{BK}(p) = \frac{T_{BR}\,p + 1}{T_d\,p} \cdot \frac{k_W}{(\tau p + 1)(T_A p + 1)} \cdot \frac{k_M}{J \cdot R_A}. \tag{7}$$

Als Übertragungsfunktion des geschlossenen Kreises ergibt sich unter der Bedingung $T_{BR} = T_A$

$$\Phi_{BK}(p) = \frac{1/V_B}{\frac{T_d T_M k_M}{k_W V_B}\tau p^2 + \frac{T_d T_M k_M}{k_W V_B}}. \quad \text{Wenn gilt:} \tag{8}$$

$$\frac{T_d T_M k_M}{k_W V_B} = 2\tau \tag{9}$$

hat der geschlossene Kreis die betragsoptimale Einstellung. Also ergibt sich T_d aus

$$T_d = \frac{2\tau k_W V_B}{k_M T_M}.$$

Damit kann man den Kreis mit verbesserten dynamischen Eigenschaften erhalten, z. B.:

— Es gibt Trägheitsmomentkompensation.
— Jeder Abschnitt der Lage- und Drehzahlreglerstrecke enthält keine große Zeitkonstante (ideale I-Glieder).
— Die dynamische Belastungsfestigkeit des Antriebs steigt.
— Die Drehzahlschwingungen durch schnellere Beschleunigungsrückkopplung wird kompensiert.

Man kann zeigen, daß in diesem Kreis ein optimaler Digitalregler sein kann [3] [4]. Damit werden die Beschleunigung und der Geschwindigkeitsfehler mit minimaler Ausregelzeit zu Null.
Da das mechanische Übertragungssystem des Vorschubantriebes aus mindestens zwei elastisch verbundenen bewegten Teilmassen besteht, gibt es auch die Möglichkeit, mit Hilfe einer Beschleunigungsrückkopplung die Geschwindigkeitsschwingungen an der Last zu unterdrücken [6]. Bei dem digitalen Geschwindigkeitsmeßsystem wird das Signal des inkrementalen Lagegebers periodisch mit der Tastperiode T_0 gespeichert und während der folgenden Periode als Rückkopplungssignal genutzt. Es gibt für die Steuerungsalgorithmen von digitalen Systemen eine angenäherte Gleichung [8]:

$$T_0/T_{95} = 1/15 \cdots 1/4 \tag{10}$$

T_{95} Ausregelzeit mit dem Toleranzband 5 %.
Außerdem ist die Bedingung des Abtasttheorems zu erfüllen.
Sogar bei der Impulsmenge $z = 5000 \cdots 6000$ sind diese Bedingungen für Drehzahlen $\Omega = 3 \cdots 5\ \mathrm{min}^{-1}$ nicht erfüllbar. In unserem Fall gibt es die Möglichkeit, durch einen Beschleunigungsgeber zusätzlich die Winkelbeschleunigung $b(t)$ im jeweiligen Zeitbereich $[t_0, t]$ zu messen. Dann ergeben sich Integralwerte zu

$$I(t) = \int_{t_0}^{t} b(\tau)\,\mathrm{d}\tau \tag{11}$$

als die Geschwindigkeitsänderung hinsichtlich $\Omega(t_0)$. Nachdem $b(t)$ mit der Tastperiode T_a diskret geworden ist, ergibt sich $b(p)$ mit nachgeschaltetem Halteglied im Unterbereich diskreter Laplace-Transformation [9] als

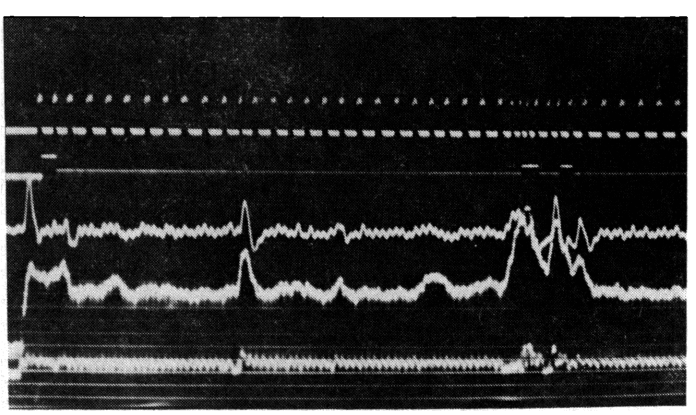
$$b(p) = \sum_{n=0}^{\infty} b(n T_a)\,\mathrm{e}^{-n T_a p}. \tag{12}$$

Nach der Digitalintegration ergibt sich der Geschwindigkeitswert im T_0-Bereich (Trapezmethode) zu

$$\Omega(n) = \frac{T_a}{2T} \sum_{i=1}^{n} [b(i) + b(i-1)]. \tag{13}$$

Bild 4 zeigt experimentelle Kurven für ein mit dem Beschleunigungssignal aufgebautes Antriebssystem. Die Datenverarbeitung wurde mit dem Computer *DVK-3M2* (*LSI-11*) durchgeführt.

Bild 4. Experimentelle Kurven für Geschwindigkeitsmittelwert 0,04 s^{-1}, $z = 2700$
Von oben nach unten: Impulsfolge des Lagegebers; digitales Signal mit Tastperiode T_0; Beschleunigung $b(t)$; Integrationssignal mit Tastperiode T_a; Spannung des Gleichstromtachometers



3. Zusammenfassung

1. Um den Regelungsbereich des Vorschubantriebes zu vergrößern, sind neue und traditionelle Methoden für die Schaffung von Drehzahlrückkopplungssystemen durch Beschleunigungsmessung des bewegten mechanischen Werkzeugmaschinenteils erforderlich.
2. Die Beschleunigungsrückkopplung steigert die dynamische Belastungsfestigkeit von Antrieben, kompensiert Drehzahlschwingungen bei elastisch gekoppelten Mehrmassensystemen des Antriebes.
3. Die b-Steuerung verringert die Abtastperiode digitaler Steuerungssysteme und macht diese unveränderlich.
4. Die Beschleunigungssteuerung löst die Aufgabe einer Interpolation für inkrementale Lagegeber.

Literatur

[1] *Pusch, W. E.:* Werkzeugmaschinen für Metallbearbeitung. Moskau: Maschinostroenie, 1986
[2] *Micheilow, O. P.:* Hochmomentelektromotoren für Vorschubantriebe von Metallschneidenwerkzeugmaschinen. Moskau: NIIMASCH 1979
[3] *Chrapko, P. I.:* Geber für rechnergeregelte Elektroantriebe auf der Basis von Beschleunigungsaufnehmern. WNIITEMR, 364 MSCH2, 1985
[4] *Kuo, B.:* Theorie und Projektierung von Rechnersteuerungssystemen. Moskau: Maschinostroenie 1986
[5] *Michailow, O. P.; Chrapko, P. I.:* Träge Steuerungen für Vorschubelektroantriebe von Metallschneidenwerkzeugmaschinen. Stanki i Instrument, Nr. II 1986, S. 25–27
[6] *Borzow, J. A.; Sokolowskii, G. G.:* Thyristorisierte Elektroantriebe mit Rückkopplungen. Leningrad: Energija 1979
[7] *Riefenstahl, U.:* Optimierung beschleunigungsgeführter Antriebe. ELEKTRIE, Berlin 31 (1977) 4, S. 181–186
[8] *Isermann, R.:* Digitale Regelsysteme. Berlin: Springer-Verlag 1977
[9] *Schönfeld, L.; Habiger, E.:* Automatisierte Elektroantriebe. Berlin: VEB Verlag Technik 1981

EA 5910

Beanspruchung der Synchronmaschine im Asynchronbetrieb

H. Funke, Heidenau-Großsedlitz

1. Quasistationäre Betrachtung

Die quasistationäre Betrachtung ist zulässig für Antriebe mit großer mechanischer Zeitkonstante. Unter dieser Annahme kann der Schlupf als näherungsweise konstant angesehen werden.
Für den eingeschwungenen Zustand erhält man somit komplexe Spannungs- und Flußverkettungsgleichungen mit dem Schlupf als Parameter, so daß für die interessierenden Größen geschlossene Lösungen angegeben und allgemeine physikalische Zusammenhänge diskutiert werden können.
Für die folgenden Betrachtungen werden die Grundgleichungen des Asynchronlaufs nach [1] benutzt. Weiterführende Ableitungen beziehen sich auf diese Gleichungen.

2. Erregerwechselspannungen und Erregerwechselstrom

Im unerregten Asynchronlauf ($\rightarrow u_{fd} = 0$; $g_{(a)} = 0$) gilt für die d-Komponente der Ankerflußverkettung und den Erregerwechselstrom

$$\underline{\psi}_d = j\,\underline{u} = x_d\,(j\,s)\,\underline{i}_d \tag{1}$$

$$\underline{i}_{fd\sim} = -j\,s\,G_{fd}\,(j\,s)\,\underline{i}_d. \tag{2}$$

Der Gesamtwiderstand des Erregerkreises (Bild 1) besteht aus dem Widerstand der Erregerwicklung r_{fd} und den an den Klemmen angeschlossenen Anlaufschutzwiderstand r_s

$$r_{fdg} = r_{fd} + r_s. \tag{3}$$

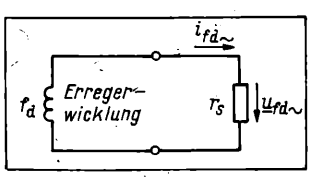


Bild 1. Erregerkreis

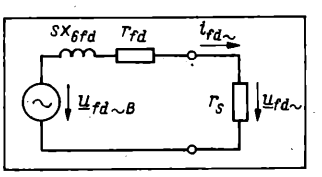


Bild 2. Ersatzschaltung des Erregerkreises

Mit (1) bis (3) und $G_{fd}\,(js)$ nach (1) wird der Erregerwechselstrom

$$\underline{i}_{fd\sim} = -s\,\underline{u}\,\frac{1}{(r_{fd}+r_s)}\,\frac{x_{afd}}{x_d}\,\frac{\left(1+j\,s\,\frac{x_{\sigma Dd}}{x_{DDd}}\,T_{Dd0}\right)}{(1+j\,s\,T_d')\,(1+j\,s\,T_d'')}. \tag{4}$$

Die über dem Schutzwiderstand abfallende Erregerwechselspannung ist

$$\underline{u}_{fd\sim} = \underline{i}_{fd\sim}\,r_s. \tag{5}$$

Es ist zu beachten, daß die Kurzschlußzeitkonstanten von r_s abhängen. Die induzierte Erregerwechselspannung bei offener Erregerwicklung erhält man durch den Grenzübergang

$r_s \rightarrow \infty\ (\rightarrow T_d' = \sigma_{aDd}\,T_{Ddo};\ T_d'' = 0)$

$$\lim_{r_s\rightarrow\infty}\underline{u}_{fd\sim} = \underline{u}_{fd\sim 1} = -s\,\underline{u}\,\frac{x_{afd}}{x_d}\,\frac{\left(1+j\,s\,\frac{x_{\sigma Dd}}{x_{DDd}}\,T_{Dd0}\right)}{(1+j\,s\,\sigma_{aDd}\,T_{Dd0})} \tag{6}$$

Gleichung (6) zeigt die bekannte lineare Abhängigkeit der induzierten Spannung vom Schlupf und von der Ankerspannung. Der komplexe Quotient ist ein Ausdruck für die abschirmende Wirkung der Dämpferwicklung gegenüber der Erregerwicklung und wird als Leerlauf-Abschirmfaktor

$$\underline{k}_{A1} = \frac{\left(1+j\,s\,\frac{x_{\sigma Dd}}{x_{DDd}}\,T_{Dd0}\right)}{(1+j\,s\,\sigma_{aDd}\,T_{Dd0})} \tag{7}$$

definiert. Die Abschirmung kann so erklärt werden, daß die Dämpferwicklung mit wachsendem Schlupf immer mehr Flußlinien des Luftspaltfeldes auf die Streuwege des Läufers verdrängt, so daß die in der Erregerwicklung induzierte Spannung immer geringer wird. Für $s = 0$ ist die Dämpferwicklung stromlos und somit $|\underline{k}_{A1}| = 1$, d.h., es erfolgt keine Abschirmung. Für $s \gg 1$ nähert sich $\underline{k}_{A1}$ dem unteren Grenzwert

$$k_{A1} \approx \frac{x_{\sigma Dd}}{x_{\sigma Dd} + x_{\sigma a}}. \tag{8}$$

Die Abschirmung ist also um so besser, je kleiner $x_{\sigma Dd}$ gegenüber $x_{\sigma a}$ ist. Durch eine einfache Erweiterung kann (4) auf die Form

$$\underline{i}_{fd} = -s\,\underline{u}\,\frac{x_{afd}}{x_d}\,\underline{k}_{A1}\,\frac{(1+j\,s\,\sigma_{aDd}\,T_{Dd0})}{(r_{fd}+r_s)\,(1+j\,s\,T_d')\,(1+j\,s\,T_d'')} \tag{9}$$

gebracht werden. Der Ausdruck vor dem Quotienten ist die Spannung $u_{fd\sim 1}$. Die Erweiterung des komplexen Quotienten mit der Impedanz des Erregerkreises ergibt für diesen

$$\frac{(1+j\,s\,\sigma_{aDd}\,T_{Dd0})\,(r_{fdg}+j\,s\,x_{\sigma fd}}{\left[\left(r_{fdg}-s^2\,\sigma_{Dfd}\,\frac{x_d''}{x_d}\,x_{ffd}\,T_{Dd0}\right)+j\,s\,(\sigma_{aDd}\,T_{Dd0}\,r_{fdg}+\sigma_{afd}\,x_{ffd})\right]}\cdot$$

$$\frac{1}{(r_{fdg}+j\,s\,x_{\sigma fd})} = \underline{k}_{AB}\cdot\frac{1}{\underline{z}_{fd}}. \tag{10}$$

Der erste Faktor in (10) wird als Last-Abschirmfaktor definiert. Er ist ein Ausdruck dafür, daß die Rückwirkung des Erregerwechselstroms auf das Luftspaltfeld zu einer zusätzlichen Verringerung des Hauptfeldes durch die Erregerwicklung und somit der induzierten Spannung führt.
Die induzierte Erregerwechselspannung bei geschlossener Erregerwicklung folgt aus (9) und (10) zu

$$\underline{u}_{fd\sim B} = \underline{z}_{fd}\cdot\underline{i}_{fd} = \underline{k}_{AB}\,\underline{k}_{A1}\,\frac{x_{afd}}{x_d}\,s\,\underline{u} \tag{11}$$

$$\underline{u}_{fd\sim B} = \underline{k}_{AB}\,\underline{u}_{fd\sim 1}. \tag{12}$$

Die in der Erregerwicklung induzierte Spannung $u_{fd\sim B}$ ist also von u, s und r_s abhängig (Bild 2).
Zur Veranschaulichung der abgeleiteten Beziehungen wurden für einen Synchronmotor (400 kW, 4polig) einige Kennlinien berechnet. Bild 3 zeigt die induzierten Erregerwechselspannungen und -ströme in Abhängigkeit vom Schlupf. Mit wachsendem Schutzwiderstand verschieben sich die Kennlinien $u_{fd\sim B}\,(s)$ von der unteren bis zur oberen Grenze des schattierten Bereiches (obere Grenze ist $u_{fd\sim 1}\,(s)$). Im Bild 4 sind die Verläufe der Abschirmfaktoren dargestellt. k_{A1} zeigt den oben diskutierten Verlauf. Aus $k_{AB}\,(s)$ ist ersichtlich, daß bei wachsendem r_s im Bereich kleiner Schlupfwerte die Rückwirkung der Erregerwicklung auf das Luftspaltfeld geringer wird. Der Einfluß des Schutzwiderstandes auf Erregerwechselspannungen und -strom ist im Bild 5 dargestellt. Man erkennt, daß im praktisch interessierenden Widerstandsbereich $1 \leqq r_{fdg}/r_{fd} \leqq 10$ bei Änderung des Widerstandes der Strom näherungsweise konstant bleibt. Die Erregerwicklung stellt in diesem Bereich also eine Stromquelle dar. Wichtig ist der Verlauf der an den Klemmen meßbaren Erregerwechselspannung $u_{fd\sim}$ gemäß (5). Aus der für den Erregerkreis maximal zulässigen Spannung $\hat{U}_{fd\sim} = 1000$ V folgt, daß der Schutzwiderstand den Wert $r_s \approx 11\,r_{fd}$ nicht überschreiten darf. Die Bilder 6 und 7 zeigen die Ortskurven

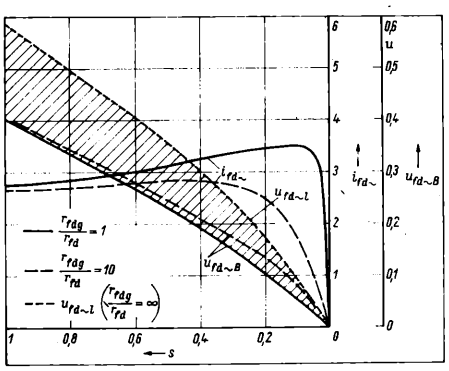


Bild 3
Induzierte Erregerwechselspannungen und -ströme für Versuchsmotor (400 kW, 4polig, $U = 1$)

Dr.-Ing. *Hans Funke* ist Mitarbeiter F/E im VEM-Sachsenwerk GmbH Dresden.

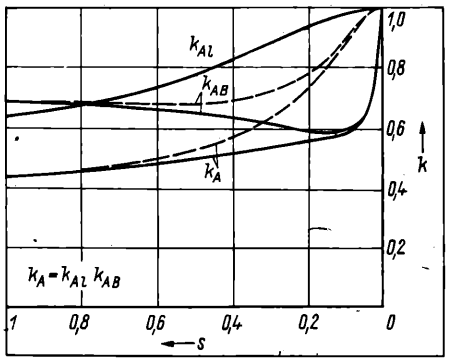


Bild 4
Abschirmfaktoren

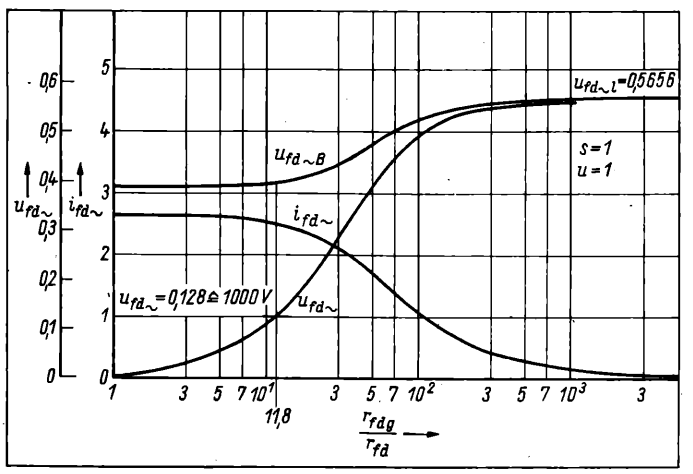


Bild 5. Abhängigkeit der Erregerwechselspannungen und -ströme vom Schutzwiderstand

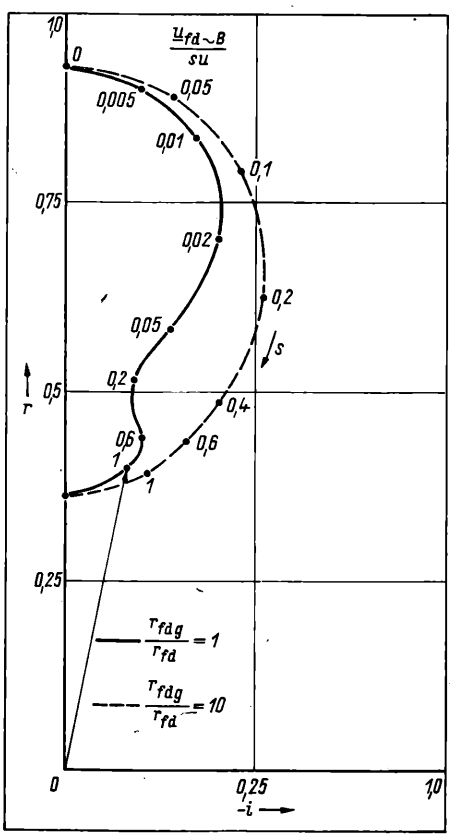


Bild 6
Ortskurven der induzierten Erregerwechselspannung $u_{fd\sim B}/su$ mit $u = 1$

der induzierten Erregerwechselspannung $\underline{u}_{fd\sim B}$ und des Erregerwechselstroms $\underline{i}_{df\sim}$. Es ist zu beachten, daß die Erregerwechselspannung wegen der besseren Darstellbarkeit auf $s\,u$ normiert wurde, so daß die Ortskurven die Beziehung $\underline{k}_{AB}\,\underline{k}_{Al}\,x_{afd}/x_d$ angeben.
Im Gegensatz zu den induzierten Spannungen sind die Ströme einfach meßbar. Die im Bild 7 eingetragenen Meßwerte zeigen eine brauchbare Übereinstimmung mit den Rechenwerten.

3. Drehmomente

Die Kenntnis der Verläufe des mittleren Drehmomentes und der Pendelmomente ist wichtig für die Beurteilung des Anlauf- und Synchronisationsverhaltens und der Torsionsbeanspruchung eines Antriebes. Mittels der bekannten Beziehungen [1] soll hier der Einfluß des Schutzwiderstandes auf die Verläufe der Drehmomente untersucht werden. Diese Frage ist wegen der in der letzten Zeit aufgetretenen Schäden durch unzulässige Torsionsbeanspruchung von besonderem Interesse.
Bild 8 zeigt die mittleren Drehmomente mit r_{fdg}/r_{fd} als Parameter. Für $r_s = 0$ ergibt sich bei $s_{kf} \approx 0{,}02$ das bekannte Kippmoment der mittleren Momentkomponente des Erregerkreises. Für Lastmomente, die kleiner als dieses Kippmoment sind, ergeben sich ausreichend kleine Ausgangsschlupfwerte für die Synchronisation. Mit

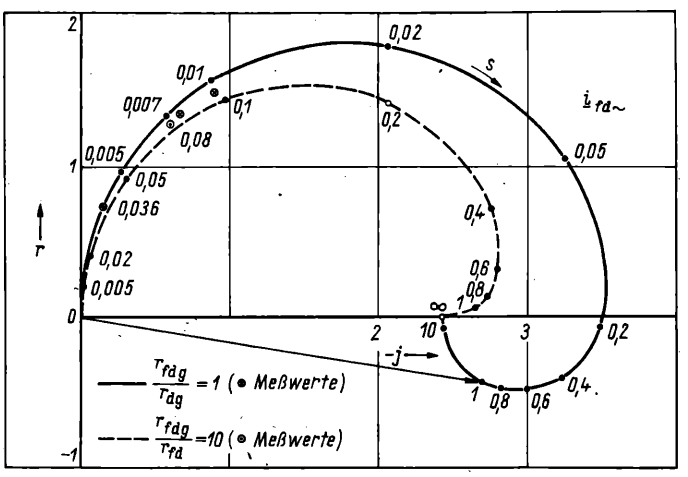


Bild 7. Ortskurven des Erregerwechselstroms $i_{fd\sim}$

Erhöhung von r_s verschiebt sich dieses Kippmoment nach größeren Schlupfwerten und prägt sich nicht mehr im Gesamtverlauf aus. Die Steilheit des mittleren Verlaufs in der Nähe des Synchronismus wird somit geringer, das Synchronisationsverhalten also schlechter. Dafür erhöhen sich im übrigen Bereich die Drehmomente, so daß die Hochlaufzeiten entsprechend kleiner werden.
Die Verläufe der Hüllkurven der Pendelmomente sind im Bild 9 angegeben. Die Frequenz der Pendelmomente ändert sich während eines asynchronen Anlaufes von $f_p = 100$ Hz bis auf $f_p = s_{(a)} \cdot 100$ Hz. Es kommt also bei einem Anlauf immer zu einer kurzen Übereinstimmung der Frequenz der Pendelmomente und der mechanischen Torsionseigenfrequenz des gekuppelten Antriebs und damit zu einem je nach Hochlaufgeschwindigkeit mehr oder weniger ausgeprägten Resonanzvorgang. Bei großen Pendelmomenten und langsamem Durchlaufen des Resonanzbereiches können sich die Schwingungen soweit aufschaukeln, daß Schäden im Wellenstrang auftreten. Besonders gefährdet sind Kupplungen und Getriebe. Aus diesem Grunde ist man bestrebt, die Pendelmomente so klein wie möglich zu halten. Eine Möglichkeit dazu bietet die Verringerung der Ankerspannung, der aber aus verschiedenen Gründen Grenzen gesetzt sind. Die wichtigste Maßnahme ist die Erhöhung des Schutzwiderstandes. Aus Bild 9 erkennt man, daß für den für diese Maschine noch zulässigen Wert $\frac{r_{fdg}}{r_{fd}} = 10$ im Bereich $0 \leqq s \leqq 0{,}2$ eine

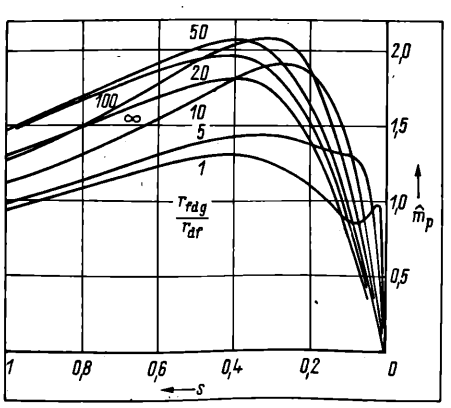


Bild 8
Mittleres Drehmoment; $u = 1$

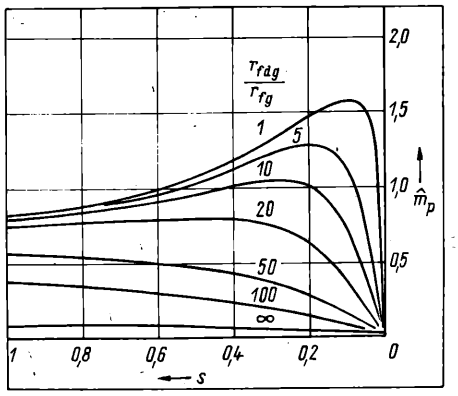


Bild 9
Pendelmomente; $u = 1$

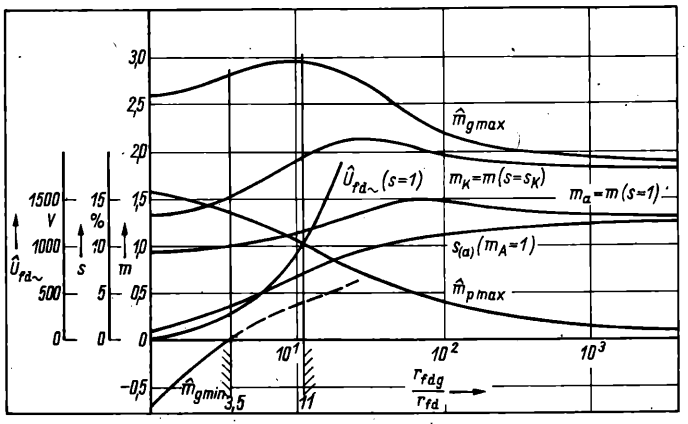


Bild 10
Abhängigkeit der Drehmomente, Erregerwechselspannung und des Ausgangsschlupfes vom Schutzwiderstand

deutliche Verringerung der Pendelmomente festzustellen ist. Eine Erhöhung über den Wert $r_{fdg}/r_{fd} = 10$ hinaus würde die Pendelmomente zwar noch weiter verringern, sie ist aber wegen der dann zu großen Erregerwechselspannung nicht möglich. Die Frage nach weiteren Möglichkeiten zur Reduzierung der Pendelmomente ist schnell anhand deren Bestimmungsgleichung [1] zu beantworten. Danach sind Pendelmomente dann vorhanden, wenn die Reaktanzoperatoren bei jeweils gleichem Schlupf unterschiedliche Werte haben. Folgende konstruktive Details bestimmen diese Differenz der Reaktanzoperatoren:

Elektrische Unsymmetrie des Läufers	/	Erregerwicklung
	\	Unterschiedliche Auslegung der Dämpferwicklung in d- und q-Achse
Magnetische Unsymmetrie des Läufers	—	Unterschiedliche magnetische Leitfähigkeit in d- und q-Achse

Aus der Darstellung der Ortskurven $1/x_d\,(j\,s)$ und $1/x_q\,(j\,s)$ folgt sofort, daß die Unsymmetrie des Läufers und somit die Pendelmomente dann sehr klein werden, wenn

a) für die Punkte der Ortskurven auf der reellen Achse bei

$s = 0 \qquad x_d \approx x_q$

$s = \infty \qquad x_d' \approx x_q''$ und

$$\left(\frac{1}{x_d'} - \frac{1}{x_d}\right) \gg \left(\frac{1}{x_d''} - \frac{1}{x_d'}\right)$$

gilt

b) die Schlupfverteilungen auf beiden Ortskurven etwa gleich sind.

Die Forderung a) könnte näherungsweise realisiert werden (→ Vollpolläufer, kleiner Wert x_d'), die Forderung b) aber nicht. Etwa gleiche Schlupfverteilung würde

$$\left(s_{45}' \approx \frac{1}{T_d'}\right) \approx \left(s_{45} \approx \frac{1}{T_q''}\right)$$

erfordern. Der Unterschied von T_d' und T_q'' ist vor allem durch die Widerstände r_{fdg} und r_{Dq} bedingt. Die Erhöhung von r_{fdg} durch r_s, die nur im begrenzten Maße möglich ist, bleibt also die wichtigste Maßnahme zur Verringerung der Pendelmomente. Normal ausgelegte Synchronmaschinen — auch solche mit Vollpolläufer — haben somit auch bei größtmöglichem Schutzwiderstand in den meisten Fällen eine restliche Läuferunsymmetrie.

Im Bild 10 sind die Verläufe der wichtigen Größen zusammengefaßt, um eine Aussage über die günstigsten Werte des Schutzwiderstandes zu gewinnen.

Der Verlauf $\hat{m}_{pmax}$ gibt die während eines Anlaufs jeweils maximale Pendelmoment-Amplitude an. Die Verläufe der jeweils maximalen und minimalen Gesamtmomente folgen aus $\hat{m}_{gmax} = \overline{m}\,(s_1) + \hat{m}_p\,(s_1)$ und $\hat{m}_{gmin} = \overline{m}\,(s_2) - \hat{m}_p\,(s_2)$. Aus dem Verlauf $\hat{m}_{gmin}$ erkennt man, daß für $r_{fdg}/r_{fd} < 3{,}5$ negative Drehmomentspitzen auftreten. Diese müssen vermieden werden, wenn im Wellenstrang spielbehaftete Bauteile (Kupplungen, Getriebe) vorhanden sind, andernfalls können gefährliche Stoßvorgänge auftreten. Der obere Grenzwert des Erregerkreiswiderstandes folgt wegen $\hat{U}_{fd\sim}\,(s = 1) = 1000$ V zu $r_{fdg}/r_{fd} = 11$. Der Ausgangsschlupf hat bei diesem Widerstand mit $s_{(a)} = 0{,}07$ einen für die Synchronisation ungünstigen Wert. Es ist also zweckmäßig, zu Beginn des Anlaufs den größtmöglichen Schutzwiderstand einzuschalten, um die Pendelmomente zu verringern. Nach Durchlaufen des Resonanzbereiches erfolgt die Umschaltung auf den kleinstmöglichen Widerstand, hier also $r_s/r_{fd} = 2{,}5$. Dadurch läuft die Maschine noch bis auf den Schlupf $s_{(a)} = 0{,}036$ hoch und kann sicher synchronisiert werden. Daß mit dieser Umschaltung die Pendelmomente wieder größer sind, hat eine für die Synchronisation günstige Wirkung. *(Forts. folgt)*

Literatur

[1] *Müller, G.:* Elektrische Maschinen — Theorie rotierender elektrischer Maschinen. Berlin: Verlag Technik 1967

EA 5931

Lieferung durch den Buchhandel oder direkt ab Verlag!

Explosionsgeschützte elektrotechnische Betriebsmittel

Von einem Autorenkollektiv unter Leitung von Dr.-Ing. Hans-Jürgen Linström. 96 Seiten, 40 Bilder, 7 Tafeln, Broschur, 10,— DM. Bestellangaben: 553891 2/Linström, Betriebsmittel

In bestimmten Industriezweigen (z. B. chemische Industrie, Bergbau) existieren Bereiche, in denen Explosionsgefahr besteht. Die elektrotechnischen Betriebsmittel, die dort eingesetzt sind, unterliegen speziellen Anforderungen, um einen sicheren Betrieb zu gewährleisten.
Ausgehend von den Bedingungen für das Entstehen von Explosionen und den dabei auftretenden Erscheinungen werden in dieser Broschüre systematisch die möglichen Schutzarten erläutert und den in den verschiedenen Industriebereichen auftretenden Explosionsgefährdungsgraden gegenübergestellt. Es werden konkrete, auf die einzelnen Schutzarten bezogene Hinweise zur Reparatur, Wartung und Prüfung der explosionsgeschützten elektrotechnischen Betriebsmittel gegeben. Bücher und Tafeln tragen zur Anschaulichkeit des Stoffs bei.

VT **VERLAG TECHNIK GmbH**

Modellierung von Netzvorgängen zur rechnergesteuerten Schutzprüfung mit dynamischen Größen

C. Haase, KDT; H. Clemens, KDT, Dresden

Mitteilung aus der Technischen Hochschule Zittau und dem Institut für Energieversorgung Dresden

Schutz- und Automatisierungseinrichtungen in Elektroenergieversorgungssystemen entwickelten sich auf der Basis der vorhandenen elektromechanischen Meßgeräte, also auf der Basis der Erfassung quasistationärer Wechselstromgrößen. Bei den Schutz-Kommandozeiten früherer Jahre in der Größenordnung von 100 ms ergaben sich hierbei zufriedenstellende Resultate.
Die Weiterentwicklung der Energieversorgungssysteme zu höheren Spannungen, größeren Erzeugereinheiten, stärkerer Vermaschung und höheren Kurzschlußströmen stellen besonders wegen der Maschinenbeanspruchung, Stabilität und Beeinflussungsprobleme höhere Forderungen an den Schutz und an dessen Kommandozeit. Analogelektronische Geräte, aber auch die digitalen Schutzeinrichtungen verarbeiten z.T. noch die konventionellen Meßgrößen und erreichen Kommandozeiten zwischen 10 und 30 ms. So aufgebaute Schutzeinrichtungen werden weiterhin im nächsten Jahrzehnt das Bild in den Netzen bestimmen und mit den derzeitigen Leistungsschaltern ihre Aufgaben erfüllen.

1. Einfluß von nichtsinusförmigen und transienten Vorgängen auf die Arbeit des Schutzes

Schnelle elektronische Schutzeinrichtungen werden von überlagerten harmonischen oder nichtharmonischen Größen oft stärker beeinflußt als die trägeren elektromechanischen Systeme.
Mit zunehmend installierter Leistungselektronik nimmt dieser Einfluß in den Netzen zu und ist in den Mittelspannungsnetzen, z.B. bei thyristorgesteuerten Anlagen, Bahnbetrieben und an Lichtbogenöfen, beachtlich.
Noch stärker nehmen transiente bzw. dynamische Vorgänge auf die Arbeitsweise schneller Schutzeinrichtungen Einfluß, so z.B.:

- das stochastisch auftretende Exponentialglied im Kurzschlußstromverlauf mit unterschiedlichen Zeitkonstanten
- die abklingenden, verzerrten Ströme beim Einschalten von Transformatoren
- vom Kurzschlußort ausgehende Wanderwellen
- die Sättigungserscheinungen in den Stromwandlern
- die Ausschwingerscheinungen an kapazitiven Spannungswandlern
- die Ausgleichsvorgänge an langen Sekundär-Meßleitungen
- die induzierten Störspannungen in den Kommandokreisen beim Schalten von Induktivitäten.

Weiterhin werden Schutzeinrichtungen in ihrer Funktion aber auch von Lichtbogeneinflüssen, Fehlerwechseln während der Meßzeit, Pendelvorgängen im Netz und starkem Lastabwurf beeinflußt. Am Institut für Energieversorgung wurden bereits erfolgreich Schutzeinrichtungen unter dem Einfluß derartiger Vorgänge geprüft. Je nach Aufgabe und Einsatzort der Schutzeinrichtung können alle diese Vorgänge unterschiedliche Bedeutung gewinnen. Aus diesem Grund darf man sich, insbesondere bei Neuentwicklungen von Schutzeinrichtungen auf analogem oder digitalem Meßprinzip, nicht mehr mit der Prüfung mit stationären oder quasistationären Größen zufriedengeben.

Dr.-Ing. *Claus Haase* ist Leiter des Wissenschaftlichen Gerätebaus an der Technischen Hochschule Zittau, Dr.-Ing. *Heinz Clemens* ist Forschungsgruppenleiter im ZFT/Institut für Energieversorgung des Kombinats Verbundnetze Energie.

2. Gewinnung der Größen zur dynamischen Schutzprüfung

Ein Teil der Größen ist relativ risikolos dem Prozeß zu entnehmen und für die Prüfung zu speichern. Dies gilt z.B. für die im Normalprozeß auftretenden harmonischen oder nichtharmonischen Verzerrungen der Sinusgrößen, für Transformator-Einschaltströme oder z.T. auch für die verfälschenden Erscheinungen an Wandlern [1].
Ein anderer Teil von Vorgängen, der bei Kurzschlüssen im Netz entsteht, kann nur bedingt dem Prozeß direkt entnommen werden, da Netzversuche nicht risikolos durchführbar sind, hohen Aufwand erfordern und meist nur wenige Parameteränderungen zulassen. Die Festlegung des Schaltwinkels bei Kurzschlußeintritt ist dabei sogar unmöglich.
Aus diesen Gründen wurden die wichtigsten, auf neue Schutzeinrichtungen Einfluß nehmenden Vorgänge mittels einer an der Technischen Hochschule Zittau verfügbaren Hybridrechenanlage [2] modelliert, und zwar unter Nutzung der Kopplung von Analogrechentechnik mit physikalischen Modellen des transienten Netzanalysators. Zur Leistungs- und Pegelanpassung beider Modelle wurden spezielle steuerbare Strom- und Spannungsquellen sowie Entkoppelverstärker entwickelt. Die Nachbildung von Schalthandlungen übernimmt eine dreipolige, steuerbare elektronische Leistungsschalternachbildung. Die sich am transienten Netzanalysator abbildenden Schaltvorgänge können mit einer speziellen Meßtechnik erfaßt, abgespeichert und zu einer Vorgangsbibliothek zusammengestellt werden.

3. Modellierung von Kurzschlußvorgängen

3.1. Modellnetz

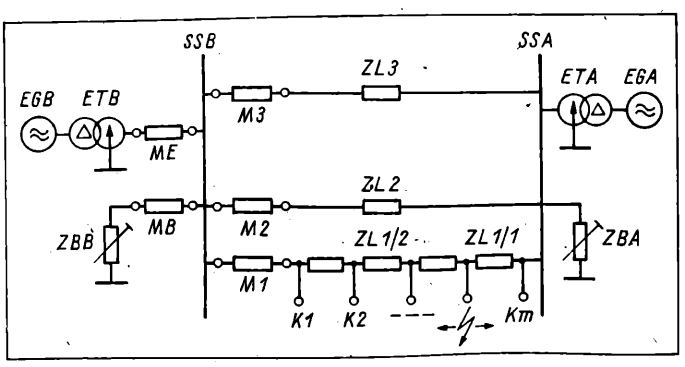
Bei der Wahl eines Modellnetzes wurden beachtet:

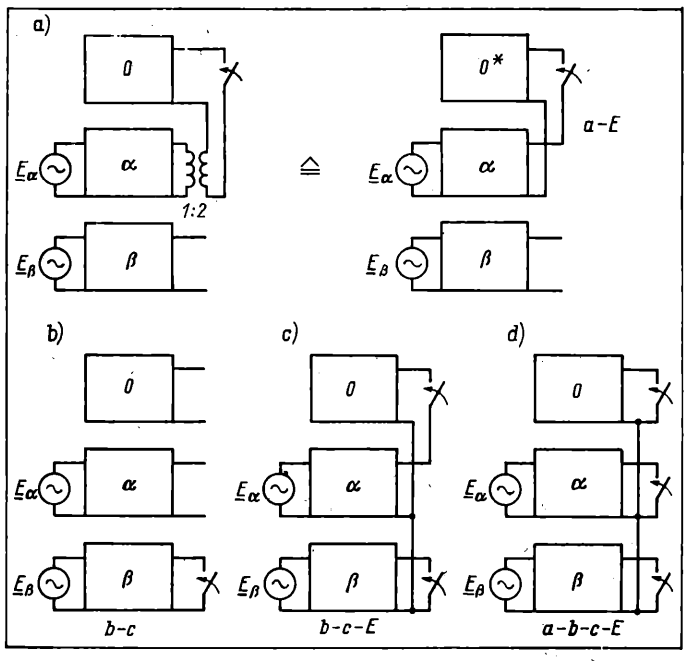
- Möglichkeit der Nachbildung der wichtigsten Fehlerarten
- minimaler Modellaufwand bei großer Varianz
- schnelle und problemlose Einstellung einer Vielzahl von Modellparametern.

Vernachlässigungen bei der Modellierung waren nur zulässig, wenn sie keine Verfälschungen der für die Relaistechnik benötigten Anregekriterien verursachen.
Das aufgebaute 380-kV-Modellnetz (Bild 1) besteht aus zwei Einspeisungen vorgegebener Leistung, die die Parallelschaltung mehrerer Kraftwerksblöcke simulieren. Die Einspeisungen sind in der Phase kontinuierlich bis zu 30° gegeneinander verschiebbar. Zwischen den Sammelschienen A und B befinden sich zwei Doppelleitungen. L1 und L2 stellen die entkoppelten Systeme der fehlerbehafteten Leitung dar, während L3 das restliche, zwischen den Sammelschienen liegende Netz ersetzt. Die Belastungen an den Sammelschienen wurden als Resistanzen modelliert. Ein Übergang auf komplexe Belastungen ist möglich.
Die Messung der zeitlichen Strom-Spannungsverläufe erfolgt an den jeweiligen Einbauorten (M) der zu untersuchenden Schutzrelais.
Das Netz läßt sich wie folgt variieren:

- Betrieb mit ein oder zwei Einspeisungen, mit oder ohne L2, L3
- beliebige Lastverhältnisse an den Sammelschienen
- Realisierung der Querfehler einpoliger Erdkurzschluß, zweipoliger Kurzschluß mit und ohne Erdberührung, dreipoliger Kurzschluß
- Simulierung rückwärtiger Fehler

Bild 1. Modellnetz
EG, BT Einspeisung – Generator, – Transformator; *ZL* Leitungen, *ZB* Belastungen, *M* Meßstellen (Relaiseinbauort), *K* Kurzschlußort





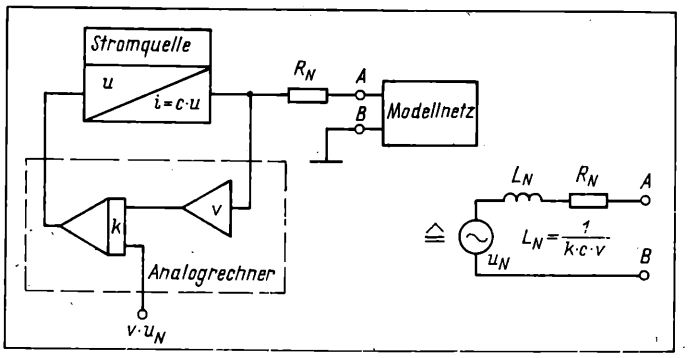


Bild 3. Nachbildung der Einspeisungen

Bild 2. Zusammenschaltung der Komponentennetze
a) einpoliger Erdkurzschluß $a-E$; b) zweipoliger Kurzschluß $b-c$; c) zweipoliger Erdkurzschluß $b-c-E$; d) dreipoliger Erdkurzschluß $a-b-c-E$

— stufenweise Veränderung der Fehlerorte K entlang des Leitungssystems L1 bis Leitungsmitte
— Modellierung der Fehlerartenwechsel: einpoliger in dreipoligen Erdkurzschluß sowie zweipoliger Kurzschluß in zweipoligen Erdkurzschluß mit wählbarer Übergangszeit
— stufenlose Einstellung des Schaltwinkels bei Kurzschlußeintritt.

3.2. Modellierung

Zur Modellierung der Unsymmetrien wurden wegen der reellen Transformationsmatrizen modifizierte Diagonalkomponenten verwendet [3]. Als Nachteil ergibt sich ein dreifacher Aufwand an Modelltechnik. Sollten die Systemverkopplungen der Freileitungen berücksichtigt werden, ist die Modellierung in Modalkomponenten möglich [3] [4], der Aufwand verdoppelt sich dabei nochmals. Die Leitungen wurden deshalb entkoppelt dargestellt. Die Zusammenschaltung der Netzwerke entsprechend den Fehlerortbedingungen zeigt Bild 2.

• Einspeisungen und Leitungen

Zur Verminderung des Analogrechneraufwandes wurden die Generatoren starr nachgebildet. Um die für die Schutzrelaisprüfung benötigten Werte Anfangskurzschlußwechselstrom und Stoßkurzschlußstrom unverfälscht zu erhalten, ist zur Modellierung die subtransiente Reaktanz verwendet worden.
Generator- und Traforeaktanz wurden zusammengefaßt. Die Realisierung der Einspeisung mit physikalischen Modellen ist wegen des hohen X/R-Verhältnisses nicht möglich. Deshalb wurde die Reaktanz mittels Analogrechner und einer speziell entwickelten spannungsgesteuerten Stromquelle nachgebildet (Bild 3).
Die Modellierung der Leitungen erfolgte durch physikalische Modelle mit einstellbaren Parametern (π-Glieder), wobei das fehlerbehaftete System detailliert (5 km- und 10 km-Abschnitte), die anderen Leitungen konzentriert durch jeweils ein π-Glied nachgebildet werden

• Modellierung des Kurzschlußvorganges und Messung

Grundlage bildet eine elektronische Leistungsschalternachbildung, mit der die periodische Wiederholung des Fehlers möglich ist. Der Schaltwinkel ist mit einer Gleichspannung stufenlos über einen Bereich von 180° bezüglich einer wählbaren Synchronspannung veränderbar.
Die Messung der Spannungsverläufe in den Komponentennetzwerken erfolgt direkt, die der Stromverläufe über eine Spannungsumformung mit Meßwiderstand und Differenzverstärker. Die Rücktransformation in Drehstromgrößen übernimmt ein entwickeltes Gerät zur Komponententransformation, so daß zur Abspeicherung die Leiterströme, der Nullstrom und die Leiter-Erde-Spannungen verfügbar sind. Einen Überblick gibt das Blockschaltbild (Bild 4).

Die Nachbildung der Fehlerartenwechsel wird durch Verkoppeln von zwei elektronischen Leistungsschaltern, die sich gegenseitig steuern, erreicht. Dabei werden die Komponentennetze entsprechend Bild 2 zeitlich nacheinander zusammengeschaltet. Die Übergangszeit zwischen beiden Fehlern kann im Bereich von 25 bis 250 ms gewählt werden. Ein typisches Meßergebnis ist im Bild 5 für einen Fehlerartenwechsel dargestellt. Infolge der starren Einspeisung wird der Dauerkurzschlußstrom zu groß modelliert, was jedoch für die vorgegebene Anwendung bedeutungslos ist. Es können Oberwellen bis 1,2 kHz erfaßt werden. Als besonders vorteilhaft hat sich die schnelle Änderungsmöglichkeit von Parametern und Netzstruktur während des Betriebes ergeben, die im Bereich von Minuten liegt. So können ohne Probleme Meßstellen ergänzt oder bezüglich ihres Einbauortes verändert werden.

4. Prüfung mit dynamischen Vorgängen im Labor

Die rechnergestützte Prüfeinrichtung [6] gestattet die Auswahl eines Vorganges mit definierten Parametern aus der Vorgangsbibliothek sowie nach entsprechender Verstärkung die Aufschaltung auf den Prüfling in Echtzeit.
Der Steuerrechner legt den Ausgangszustand fest, steuert den Magnetbandlauf und die zeitliche Reihenfolge der Prüfvorgänge und führt Protokoll. Bei Bedarf ist die Steuerung eines Lichtlinienschreibers möglich.

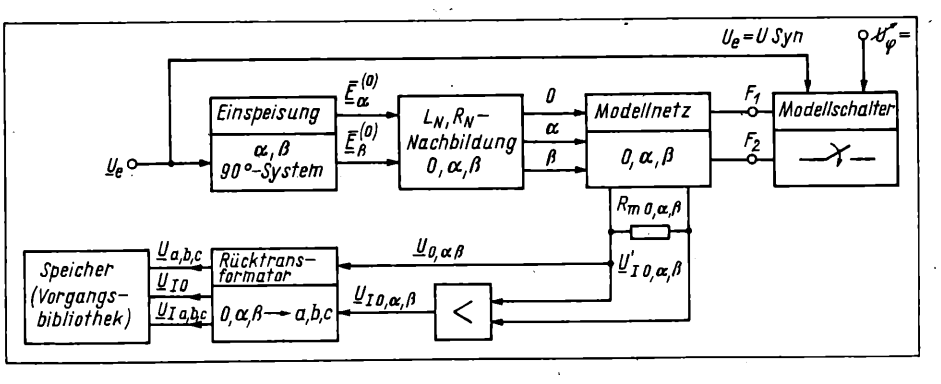


Bild 4. Modellierungsübersicht
U_e Bezugs- und Speisespannung; LN, RN Einspeiseimpedanz; U_φ Gleichspannung zur Schaltwinkelsteuerung; R_m Meßwiderstand; U_I stromproportionale Meßspannung; F Fehlerortanschlüsse

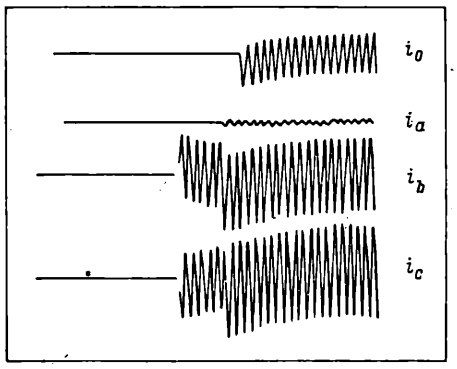


Bild 5
Fehlerartenwechsel zweipoliger Kurzschluß $b-c$ in zweipoligen Erdkurzschluß $b-c-E$ an der Sammelschiene

5. Schlußbetrachtungen

Anwendungsmöglichkeiten für das vorgestellte Verfahren:

- — Prüfung neuentwickelter oder noch in Entwicklung begriffener Schutz- und Automatisierungseinrichtungen oder Baugruppen
- — Typprüfungen von Schutz und Automatisierungseinrichtungen beim Hersteller in rationalisierter und qualitativ hochwertiger Form
- — Diagnostik von Schutzeinrichtungen nach Fehlverhalten im Netzbetrieb.

Die ökonomischen Vorteile der rechnergestützten Schutzprüfungen sind offensichtlich. Schon durch Schutzprüfungen mit quasistationären Größen ergibt sich eine Steigerung der Erprobungsqualität, die sich letztlich beim Netzeinsatz der Geräte in erhöhter Versorgungszuverlässigkeit auswirkt. Mit den dynamischen Prüfungen der Schutzeinrichtungen werden Netzkurzschlußversuche mit sehr hohen Kosten eingespart.
Der Nutzen durch Wegfall des mit Kurzschlußversuchen verbundenen Risikos und durch die infolge hoher Prüfqualität mit vielen Parametern erhöhte Versorgungszuverlässigkeit ist bedeutend.

Literatur

[1] *Peplinski, B.:* Rechnerkompatible Prozeßdatenspeicherung. 9. Wiss. Konferenz der Sektion Elektrotechnik der TU Dresden 1981, B1 – B15
[2] *Oßwald, W.:* Zum Einsatz der Hybridrechentechnik an der Sektion Elektroenergieversorgung der Ingenieurhochschule Zittau. ELEKTRIE, Berlin 33 (1979) 8 S. 407 – 410
[3] *Pfeifer, G.; Rüdenauer, F.:* Zusammenfassende Darstellung von Komponentensystemen unter besonderer Berücksichtigung der modifizierten Diagonalkomponenten zur Behandlung von Unsymmetrien in Elektroenergieversorgungsnetzen. Wiss. Zeitschrift der TH Ilmenau 12 (1966) 2, S. 159 – 174
[4] *Oßwald, W.:* Behandlung von Unsymmetrieproblemen an in Modalkomponenten kopplungsfrei dargestellten symmetrischen Drehstromdoppelleitungen zur Lösung nichtstationärer Betriebsprozesse. ELEKTRIE, Berlin 32 (1978) 5, S. 241 bis 244
[5] *Oßwald, W.; Haase, C.:* Modellierung nichtstationärer Betriebsvorgänge im Elektroenergiesystem mit Hilfe der Rechen- und Modelltechnik. Acta Polytechnica (Prace CVUTV Praze) 1982-5, Nr. 20, S. 66 – 75
[6] *Clemens, H.:* Rechnergestützte statische und dynamische Prüfung von Schutzeinrichtungen der Energieversorgung. Energietechnik, Leipzig 38 (1988) 5, S. 295 – 299

EA 6020

Hochleistungskühlkörper mit eingesetzten Rippen

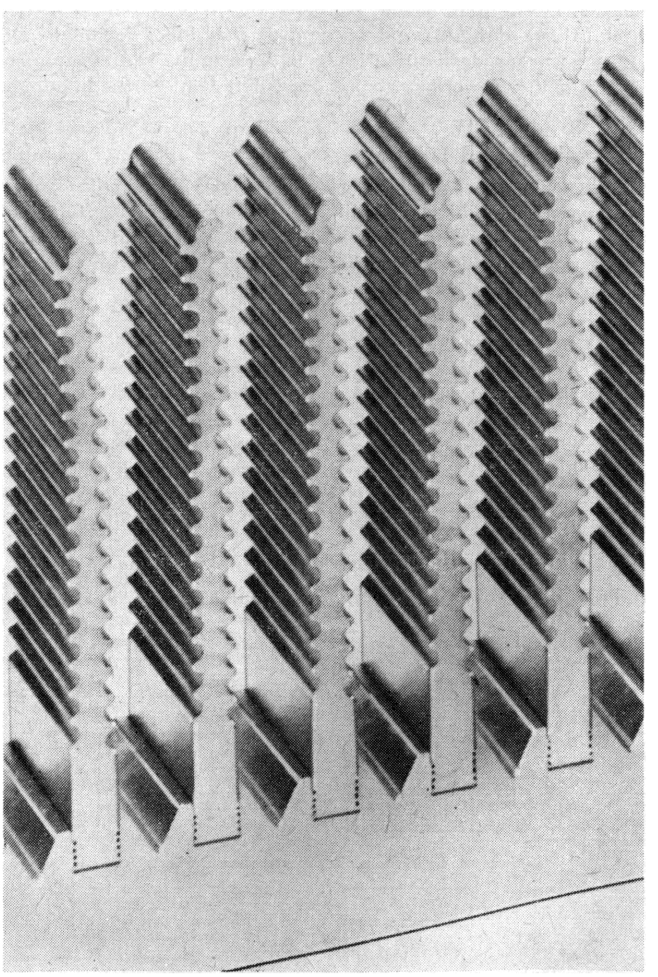
Mit zunehmender Leistungsfähigkeit der Halbleiter-Elemente wie Dioden, Transistoren und Thyristoren werden an die hierfür benötigten Kühlkörper, welche der Abfuhr der durch die Verlustleistung entstehenden Wärme dienen, zunehmend höhere Anforderungen gestellt.
Mit unseren Hochleistungskühlkörpern werden wir dieser Anforderung gerecht. Bei freier Convection erreichen wir nunmehr Bereiche, die bislang durch Zwangsbelüftung oder Wasserkühlung abgedeckt wurden.
Die gute Wärmeableitung wird erreicht durch ein großes Rippenverhältnis. Die stark gewellte Oberfläche vergrößert die Fläche, die die Wärme ans Medium Luft abgibt.
Das Rippenverhältnis der eingesetzten Rippen ist 12:1; im Gegensatz zur konventionellen Strangpreßtechnik, welche nur ein Verhältnis von 8:1 zuläßt.

Ihr Ansprechpartner:

Th. Fischer

fischer elektronik

Nottebohmstraße 28 · D-5880 Lüdenscheid
☎ (0 23 51) 4 50 20



Quantitative Zuverlässigkeitsbewertung von Belastungsverhältnissen im Bereich streuender Stehvermögenswerte

W. Gallas, KDT, Forst/L.

Verwendete Formelzeichen

B	Beanspruchungswert
c	Spreizung einer dreiecksverteilten Stehvermögensdichtefunktion
e_{nm}	Empfindlichkeitsfaktor
$f_B(x)$	Dichtefunktion der Beanspruchungsgröße x
$f_B(y)$	Dichtefunktion der Stehvermögensgröße y
g	Auslastungsgrad
$\underline{I}$	komplexer Strom
$\boldsymbol{I}$	komplexer Stromvektor
$\mathrm{d}\boldsymbol{I}$	komplexer Stromänderungsvektor
k	Anzahl ausgefallener Elemente
m	Elementezahl
MSG1	Anzahl der Minimalschrittgruppen 1. Ordnung
MSG2	Anzahl der Minimalschrittgruppen 2. Ordnung
$p(\ddot{u})$	Überbeanspruchungswahrscheinlichkeit
S	Stehvermögen
t_A	mittlere Ausfallzeit
t_W	mittlere Wartungszeit
$\boldsymbol{U}$	komplexer Spannungsvektor
$\Delta\boldsymbol{U}$	komplexer Spannungsdifferenzvektor
$\mathrm{d}\boldsymbol{U}$	komplexer Spannungsänderungsvektor
V	Verfügbarkeit
$\overline{V}$	Nichtverfügbarkeit
z	Redundanz einer Anordnung
$\underline{Z}mn$	Impedanzwert des Zweiges m — n
Z_A	Ausfallzustand
Z_W	Wartungszustand
λ	Ausfallrate
η	Wartungsrate

1. Hohe Grundmittelauslastung — Erfordernis und Problematik

Entscheidungen und Überlegungen zur Entwicklungsstrategie des Energieversorgungsbetriebes sind Entscheidungen zur Reproduktionsstrategie. Untersuchungen liegen so zu den sich aus den Reproduktionsbedingungen ergebenden Möglichkeiten der Arbeitsproduktivitätssteigerungen vor [1] [2], letztendlich einem der Hauptziele der geforderten Intensivierung. Da der Anteil der vergegenständlichten Arbeit im Reproduktionsprozeß im Verhältnis zur lebendigen Arbeit im stetigen Anwachsen begriffen ist, steht die Zielstellung einer Erhöhung der Arbeitsproduktivität in enger Wechselbeziehung zur Frage nach der Effektivität der eingesetzten Grundmittel.

Aus dem Ansatz einer einfachen Verhältniskennziffer der Arbeitsproduktivität und einer Zusatzdefinition ΔAp für den Arbeitsproduktivitätsanstieg in den Vergleichszeiträumen x und y ließ sich für den Prozeß der Elektroenergieübertragung nachweisen, daß wesentliche Arbeitsproduktivitätssteigerungen nur durch Senkung des auf das Produkt „Transportierte GWh" zu übertragende vergegenständlichte Arbeitszeitvolumen zu erreichen ist [3]. Ihren Ausdruck findet diese Entwicklung unter anderem im Absinken der Kennziffer „eingesetzte Grundmittel je übertragene GWh" bzw. im Anstieg der je Grundmitteleinheit übertragenen Energiemenge. Diese noch ungleichmäßig verlaufende Entwicklung der Grundfondsintensität nach Bild 1 ist in ihrer fallenden Tendenz auch für die Zukunft zu erwarten.

Mit dem Trend einer immer höheren Auslastung der Grundmittel bis zum technisch möglichen Grenzbereich und der Akzeptierung von Teilüberlastungen und Risikobetrachtungen wird jedoch die Frage nach den Grenzen einer derartigen Entwicklung nicht nur legitim, sondern zwingend notwendig. Eine verminderte Zuverlässigkeit und damit verbunden eine erhöhte Schadenserwartung hat direkten Einfluß auf die auf das Produkt zu übertragende vergegenständlichte Arbeit. Neben der erwünschten Zielfunktion „Verbesserung der gesellschaftlichen Reproduktionsbedingungen" darf eine Gefährdung dieser Zielstellung durch sich verringernde Zuverlässigkeit und damit eine negative Beeinflussung der Reproduktionsbedingungen nicht zugelassen werden. Der zur Zeit praktizierte technische Entwicklungsweg bedarf daher einer quantitativen Bewertung.

2. Zuverlässigkeit und stochastische Beanspruchungsmessung

Alle technischen Systeme wurden mit ihrer Einführung bewußt oder unbewußt einer gesellschaftlichen Zuverlässigkeitsakzeptanz unterworfen.

Praxis in der Elektroenergieübertragungstechnik war es über Jahrzehnte und ist es auch heute noch im überwiegenden Umfang, das Prinzip deterministischer Bemessungskriterien zu verwenden, obwohl schon Zweifel an der Sinnfälligkeit eines derartigen Ansatzes geäußert wurden [4]. Vorschriftengemäß soll der überbeanspruchungsverursachte Ausfall eines Betriebsmittels dadurch verhindert werden, daß die Belastbarkeit des Elementes stets über der maximal möglichen Belastung liegt.

Bisher kaum behandelt wurde das Problem der Streuung der Belastbarkeitsgrößen [5], d.h. die Variation von Stehvermögensfunktionen in einem bestimmten Wertebereich und deren Einfluß auf die Systemzuverlässigkeit, wie es im Problembereich der Isolationsbewertung und -auslegung anwendungsreif praktiziert und in [6] beschrieben wird, obwohl erste Modellvorstellungen zur Lösung der stochastischen Bemessung von Elektroenergieanlagen bereits vorliegen [7].

Das Prinzip des verfolgten Lösungsgedankens veranschaulicht die grafische Darstellung im Bild 2. Die Problematik der stochastischen Beurteilung der Betriebsstrombelastbarkeit im Zusammenhang mit dem Systemzuverlässigkeitsverhalten unter Berücksichtigung von Störungsfällen ist noch weitgehend unbearbeitet. Ausgangspunkt der bewertenden Untersuchungen ist der Grundgedanke, daß eine bestehende Netzstruktur die Versorgung von Abnehmern oder Abnehmerkomplexen mit bestimmten Versorgungszuverlässigkeitskriterien erfüllt. Diese Zuverlässigkeitskennziffern sind an Hand der vorhandenen Störungskennziffern aus statistischen Auswertungen quantifizierbar. Für eine zu untersuchende Struktur ist eine Bewertungsbasis auf der Grundlage von Zuverlässigkeitskennziffern zu schaffen, die eine spätere vergleichende Wertung bei veränderten Belastungsverhältnissen ermöglichen muß.

3. Allgemeine Beschreibung der Zuverlässigkeit in Abhängigkeit von den Belastungsverhältnissen

Am Beispiel der Anordnung von m parallelen Systemelementen mit einer Redundanz z soll für ein variierendes Stehvermögen und eine zufällige Beanspruchung eine verallgemeinerte Darstellung gegeben werden.

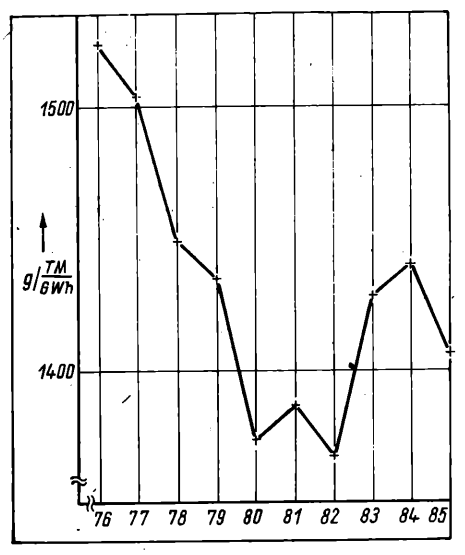


Bild 1. Grundmitteleinsatz für die übertragenen GWh Elektroenergie in einem typischen Energieversorgungsnetz
g Grundfondsintensität

Dr.-Ing. *Wolfgang Gallas* ist Mitarbeiter in der Abteilung Technik des VEB Energiekombinat Cottbus.

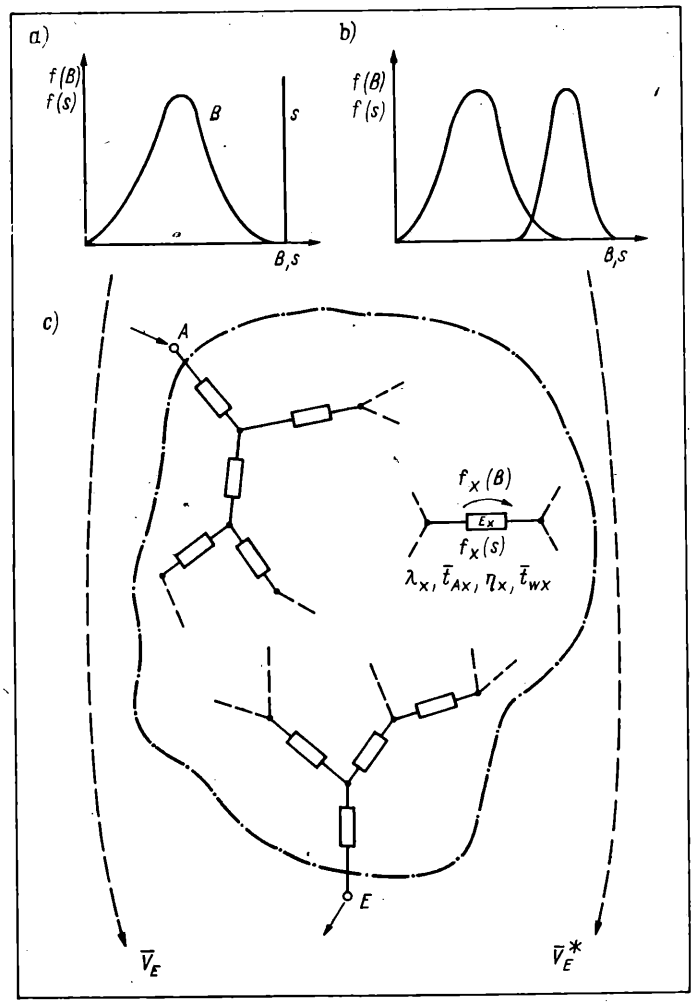
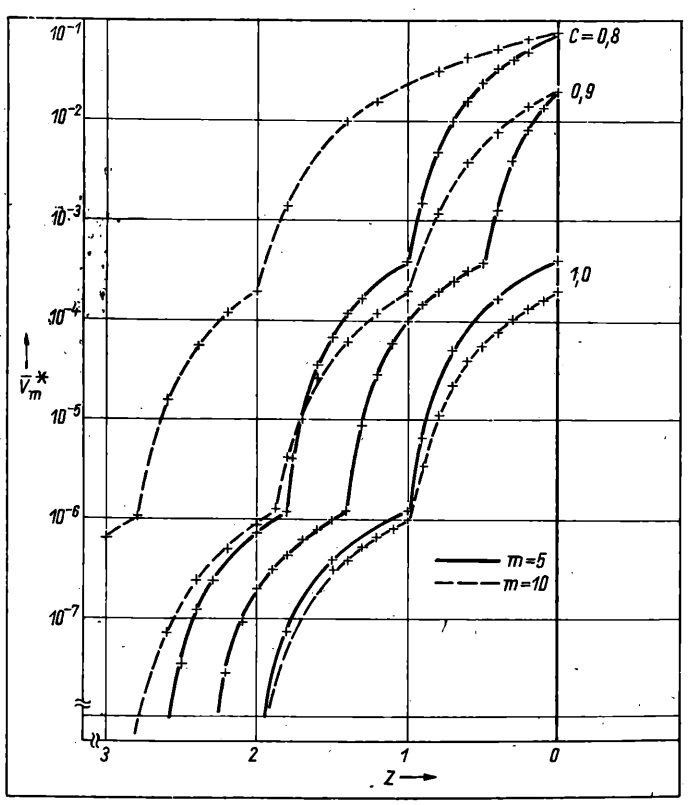


Bild 2. Schema zur Ableitung vergleichbarer Systemzuverlässigkeitskennziffern unter Berücksichtigung der Beanspruchungsverhältnisse
a) Deterministische Anlagenbemessung; b) Nachbildung stochastischer Anlagenbeanspruchungsverhältnisse

Bild 4. Nichtverfügbarkeit einer m-Elementeanordnung in Abhängigkeit von der erreichten Redundanz z und einer Nichtverfügbarkeit der Einzelelemente von $\bar{V} = 10^{-3}$



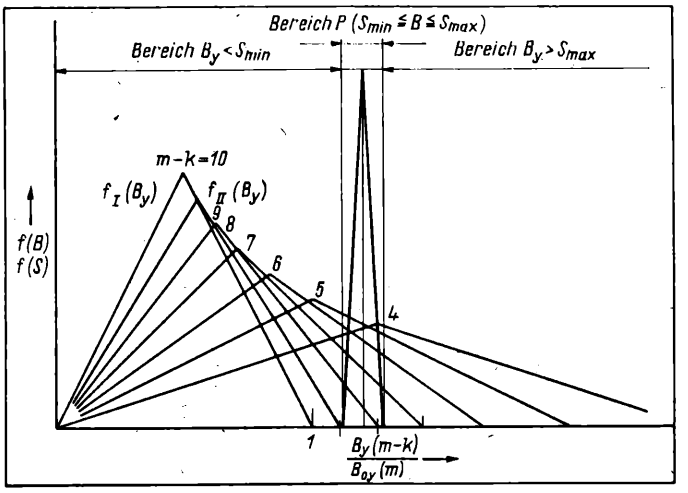


Bild 3. Verhältnisse in einer m-z-Anordnung ($m = 10$) bei stochastischen Beanspruchungs- und Stehvermögensfunktionen in Abhängigkeit vom Ereignisfall k
m Anzahl der Elemente; k Anzahl ausgefallener Elemente; Z Redundanz

$$f_I(B_y) = 4\frac{B_y}{B_0^2}(m-k)^2; \quad f_{II}(B_y) = 4\frac{m-k}{B_0} - 4\frac{B_y}{B_0^2}(m-k)^2$$

$$S_{max} = \frac{B_0}{m-z}; \quad B_{0y} = g\frac{n \cdot Z}{m-k}B_0; \quad S_{min} = c\,S_{max}$$

Während das Problem der Zuverlässigkeitsentwicklung einer m-z-Anordnung bei konstantem Stehvermögen auf geschlossene Lösungsalgorithmen zurückgeführt werden kann, werden die Verhältnisse bei einer Berücksichtigung des stochastischen Stehvermögens in jedem Fall eine Auswertung über das Faltungsintegral gemäß (1), dargestellt im Bild 3, erfordern.

$$p(B > S) = 1 - \bar{p} = \int_{S_{min}}^{B_{max}} f_B(B) \cdot F_S(B)\,dB \qquad (1)$$

Werden die Beanspruchungs- und Stehvermögenswerte als Dreiecksdichtefunktionen dargestellt, ergeben sich für ein Element y aus der m-z-Anordnung zweigeteilte Beschreibungen der Dichtefunktionen der Beanspruchung nach Bild 3 bei Ereignissen der Ordnung k. Das Stehvermögen des Einzelelements der m-Elementeanordnung liege im Bereich S_{min} bis S_{max}. Um eine vergleichende Bewertung zu ermöglichen, erfolgt eine bezogene Darstellung auf die maximale Beanspruchung B_0 einer gewählten Redundanz z. Ein Faktor g soll den Auslastungsgrad der Anordnung interpretieren und mit c die Spreizung der Stehvermögensfunktion beschrieben werden. Damit gilt für ein Element y ein oberer Beanspruchungswert B_{oy} und eine verallgemeinerte Stehvermögensbeschreibung in Abhängigkeit von B_0, m, z gemäß Bild 3.

Es soll davon ausgegangen werden, daß eine Überschneidung der Dichtefunktionen $f_B(B)$ und $f_S(B)$ in Abhängigkeit vom Systemzustand k auftritt. So ist bei der gewählten Modellform der Dichtefunktionen eine geschlossene analytische Lösung in der allgemeingültigen Form nach (2) zur Bestimmung der Überbeanspruchungswahrscheinlichkeit nicht realisierbar, da die Dichtefunktionen im Lösungsansatz durch Unstetigkeitsstellen gekennzeichnet sind. Die Verhältnisse werden sich in Abhängigkeit vom Systemzustand k gemäß Abbildung nach Bild 3 darstellen lassen. Es muß in diesem Fall auf eine numerische Integrationslösungen zurückgegriffen werden. In jedem Systemzustand k, der bei gleichen Elementen mit einer Wahrscheinlichkeit

$$\binom{m}{k} V^{m \cdot k}\,\bar{V}^k \qquad (2)$$

existiert, besteht in Abhängigkeit vom Auslastungsgrad g eine Wahrscheinlichkeit für das Eintreten von Beanspruchungswerten B_y im Bereich S_{min} bis S_{max}. Die lastabhängige Systemzuverlässigkeit im Zustand k resultiert aus 4 möglichen Ereigniszuständen, die über

— das System überlebt mit	$P(B < S_{min})$
— das System überlebt mit	$P(S_{min} < B < S_{max}) + P(B < S)$
— das System überlebt nicht mit	$P(S_{min} < B < S_{max}) + P(B > S)$
— das System überlebt nicht mit	$P(B > S_{max})$

beschrieben werden können.

Bei gleichen Elementen und einer Gesamtbelastung B wird im vereinfachten Ansatz jedes der verbleibenden Elemente zu einem Zeitpunkt t gleich beansprucht und hat im Bereich $S_{min} < B < S_{max}$ eine Überlebenswahrscheinlichkeit $P(B < S) = \bar{p} = 1 - p(\ddot{u})$. Das führt beim Zustand k zu einer näherungsweisen Gesamtüberlebenswahrscheinlichkeit in diesem Belastungsbereich von

$$V_k = \binom{m}{k} V^{m-k} \bar{V}^k \left[p_k(B \leqq S_{min}) + p_k(S_{min} < B \leqq S_{max})(1 - p_k(\ddot{u}))^{m-k}\right]. \quad (3)$$

Die Berechnung der für jeden Ereigniszustand k in Abhängigkeit vom n, z, c und g eintretenden Zustandswahrscheinlichkeiten wurde über den vorliegenden Algorithmus in einem Rechenprogramm realisiert.

Für verschiedene Elementezahlen m konnte die Nichtverfügbarkeitsentwicklung der Gesamtanordnung in Abhängigkeit vom Auslastungsgrad g mit einer Spreizung c des Stehvermögens als Parameter dargestellt werden. Ein Kontrollvergleich der Rechnungen mit einem Verfahren für konstantes Stehvermögen ergab für $c \to 1{,}0$ gleiche Ergebnisse und damit eine genügende Genauigkeit des Algorithmus.

An Hand der im Bild 4 dargestellten Beispielergebnisse kann die Entwicklung der Systemverhältnisse diskutiert werden. Bei einer Nichtverfügbarkeit jedes Einzelelementes $\bar{V}$ von 10^{-3}/a bis 10^{-5}/a im Elektroenergieversorgungsbetrieb und bei einem in der Praxis akzeptierten Sicherheitsniveau von 10^{-6}/a werden erste Abschätzungen abgeleitet.

Nahezu unabhängig von der Anzahl der das Gesamtsystem versorgenden gleichen Elemente werden bei einem Belastungsniveau von $z < 3$ und einem deterministischen Stehvermögen gleiche Nichtverfügbarkeiten erreicht. Mit steigendem Auslastungsgrad sinkt zwar die Nichtverfügbarkeit erwartungsgemäß, kann jedoch bis $z > 1$ im Wertebereich $< 10^{-6}$ erwartet werden. Steigt die Zahl der Elemente m bei der Verwendung von gleichartigen Bauelementen und einem streuenden Stehvermögen, so wird diese Streuung bestimmenden Einfluß auf die Verfügbarkeit der Gesamtanordnung haben. Während bei einer postulierten Einpunktverteilung des Stehvermögens und einem Belastungsniveau bis zu $z = 1$ noch größenordnungsmäßig vertretbare Zuverlässigkeitswerte (10^{-6} im Berechnungsbeispiel nach Bild 4) erwartet werden können, führt ein Abweichen des Stehvermögens von seiner Einpunktverteilung zu erheblichen Differenzen. Mit dem Anwachsen der Streuung des Stehvermögens werden mit höherer Elementzahl mehrere Redundanzstufen überschritten und so größere Nichtverfügbarkeiten der Gesamtanordnung erreicht, die im Extremfall nach Bild 4 bis zu zwei Zehnerpotenzen erreichen können. D.h. bei einer Streuung des Stehvermögens von 20 % um seinen deterministischen Ansatz können gleiche Zuverlässigkeitskennwerte nur erreicht werden, indem eine zusätzliche Redundanz bis zu zwei Elementen realisiert wird.

4. Beschreibung der überlastunabhängigen Zuverlässigkeit

Grundlage der Bewertung bilden Zustandsbeschreibungen des Betriebs- und Nichtbetriebszustandes der Systemelemente. Jedes Element befindet sich mit der Wahrscheinlichkeit 1 in einem der Zustände Wartung (Z_W), Betrieb (Z_B) bzw. Nichtbetrieb durch Ausfall (Z_A).

Über den Ansatz exponentialverteilter Verteilungsfunktionen ergibt sich die Verfügbarkeit zu

$$V = 1 - p(Z_A) - p(Z_W) = 1 - \lambda \cdot \bar{t} - \eta \cdot \bar{t}_W. \quad (4)$$

Die Zuverlässigkeitskennziffern in vermaschten Strukturen erfordern einen komplexen Lösungsansatz, der über die Berechnungsalgorithmen der Boolschen Algebra formulierbar wird. Die Funktionstüchtigkeit des vermaschten Systems wird durch eine Ersatzschaltung nachgebildet, die bei der Auswertung gleiche Kennziffern aufweist wie das Originalsystem.

Zur rechentechnischen Abarbeitung wurde das Verfahren der Minimalschnitte gewählt [8]. Über eine zu bildende Knotenzweiginzidenzmatrix wird mit einem methodischen Suchverfahren die Menge und die Struktur der Minimalschnitte 1. und 2. Ordnung für den Transportweg „A"—„E" berechnet.

Die Gesamtnichtverfügbarkeit ergibt sich dann aus der Summe der Nichtverfügbarkeiten für Serien- und Parallelstruktur in der Form:

$$\bar{V} = \bar{V}_S + \bar{V}_p \quad (5)$$

für Minimalschnittgruppen 1. und 2. Ordnung. Diese stehen aus der Auswertung der Minimalwegmatrix zur Verfügung.

Die Minimalschnittgruppen 1. Ordnung bilden im Zuverlässigkeitsersatzschaltbild des Systems eine Serienschaltung von Einzelelementen. Mit den in [9] abgeleiteten Beziehungen ergibt sich der Anteil der Nichtverfügbarkeit dieser seriellen Anordnung von Minimalschnittgruppen 1. Ordnung im ersten Summanden nach Gl. (6). Mit den in [9] abgeleiteten Beziehungen für den störungsbedingten Nichtverfügbarkeitsanteil einer Parallelschaltung zweier Elemente und unter Verwendung der Beziehungen des Serienkreises folgt für die serielle Anordnung von Minimalschnittgruppen 2. Ordnung der 2. und 3. Summand in (6).

Mit den vorliegenden Beziehungen lassen sich die Kenngrößen für die Ersatzschaltung eines vermaschten Systems mit Minimalschnittgruppen 1. und 2. Ordnung wie folgt formulieren, und es läßt sich eine Verfügbarkeit für den zu bewertenden Knotenpunkt von $V = 1 - \bar{V}$ ableiten.

$$\bar{V} = \sum_{i=1}^{MSG1}{}' \left[\lambda(i) \cdot \bar{t}_A(i) + \eta(i) \bar{t}_W(i)\right] + \sum_{j=1}^{MSG2} \left[\lambda_1(j) \cdot \lambda_2(j) \cdot \bar{t}_{A1}(j) \cdot \bar{t}_{A2}(j)\right] + \sum_{j=1}^{MSG2} \left[\lambda_1(j) \cdot \eta_2(j) \cdot \bar{t}_{w2}(j) \cdot \bar{t}_2(j) + \lambda_2(j)\, \eta_1(j) \cdot \bar{t}_{w1}(j) \cdot \bar{t}_1(j)\right]. \quad (6)$$

Die abgeleiteten Beziehungen gelten für voneinander unabhängige Ausfälle der Einzelelemente. Wenn Doppelfehler nicht vernachlässigt werden können, weil die Eintrittswahrscheinlichkeit eines doppelten Ereignisses aus den Eintrittswahrscheinlichkeiten unabhängiger Einzelelemente durch die mathematische Verknüpfung nach den Regeln unabhängiger Ereignisse zu klein berechnet werden, bietet sich die Einbeziehung der Wahrscheinlichkeit der Doppelfehler in Analogie zu den in [11] formulierten „commonmode-failuares" mit separaten mittleren Ausfalldauern und Ausfallraten an. Diese Elemente wären so eine Ergänzung der MSG 1. Ordnung. Die Anwendbarkeit im Verfahren zur Berechnung der Zuverlässigkeitskenngrößen ist mit diesem Gedankensatz gegeben.

5. Ermittlung der überlastabhängigen Zuverlässigkeitskennziffern

5.1. Berechnung der Beanspruchungsfunktionen über ein Verfahren der Empfindlichkeitsanalyse

Grundlage des Lösungsgedankens bildet ein Ansatz zur Empfindlichkeitsanalyse nach [12]. Danach ergibt sich der Strom in einem Zweig n, herrührend von der Last im Knoten m, aus dem Produkt der Änderung des Stroms im Zweig n bezogen auf die zugehörige relative Veränderung der Knotenlast um I_m

$$|I_{nm}| = |\Delta I_{nm}| \cdot \frac{|I_m|}{|\Delta J_m|} = e_{nm} |I_m|, \quad (7)$$

und der Faktor e_{nm} wird als Empfindlichkeitsfaktor definiert. Er beschreibt den Anteil des Knotens m an der Zweigbelastung im Zweig n. Diese Empfindlichkeitsfaktoren sind durch Variation der Knotenpunktwerte I_m und anschließende Netzberechnungen mit relativ hohem Zeitaufwand bestimmbar [13].

Über die Beziehungen aus dem Knotenpunktverfahren wird die Ableitung der Empfindlichkeitsfaktoren direkt aus den Impedanzwerten möglich.

Im Knotenpunktverfahren ist die Admittanzmatrix $\boldsymbol{Y}$, die multipliziert mit dem Spannungsvektor $\Delta \boldsymbol{U}$ den Stromvektor der Knotenpunkte $\boldsymbol{I}$ ergibt, aufzubauen [14]:

$$\boldsymbol{Y} \cdot \Delta \boldsymbol{U} = \boldsymbol{I} \quad (8)$$

Der Strom auf dem Zweig von m nach n ergibt sich aus der Anwendung des Ohmschen Gesetzes und nach Inversion der Matrix $\boldsymbol{Y}$ zu

$$I_{mn} = (\Delta \underline{U}_m - \Delta \underline{U}_n) \cdot \underline{Y}_{mn}, \quad (9)$$

wobei $\underline{Y}_{mn}$ die Admittanz des Zweiges von m nach n beinhaltet. Einer Änderung im Stromverkehr um $\mathrm{d}\boldsymbol{I}$ folgt eine Veränderung des Spannungsvektors $\Delta \boldsymbol{U}$ um $\mathrm{d}\boldsymbol{U}$.

Wenn nun eine Änderung eines Stroms in einem Punkt x in seinen Auswirkungen auf einzelne Systemelemente hinsichtlich der zu erwartenden Belastungsänderungen auf Zweigen zu untersuchen ist, so wird der Vektor der Stromänderung $\mathrm{d}\underline{I}$ zu einem bis auf eine Position von 0 abweichenden Vektor. Die Spannungsänderungswerte ermitteln sich dann aus der Multiplikation des x-ten Zeilenelementes

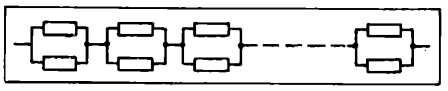


Bild 5. Zuverlässigkeitsersatzschaltbild für Minimalschnittgruppen 2. Ordnung

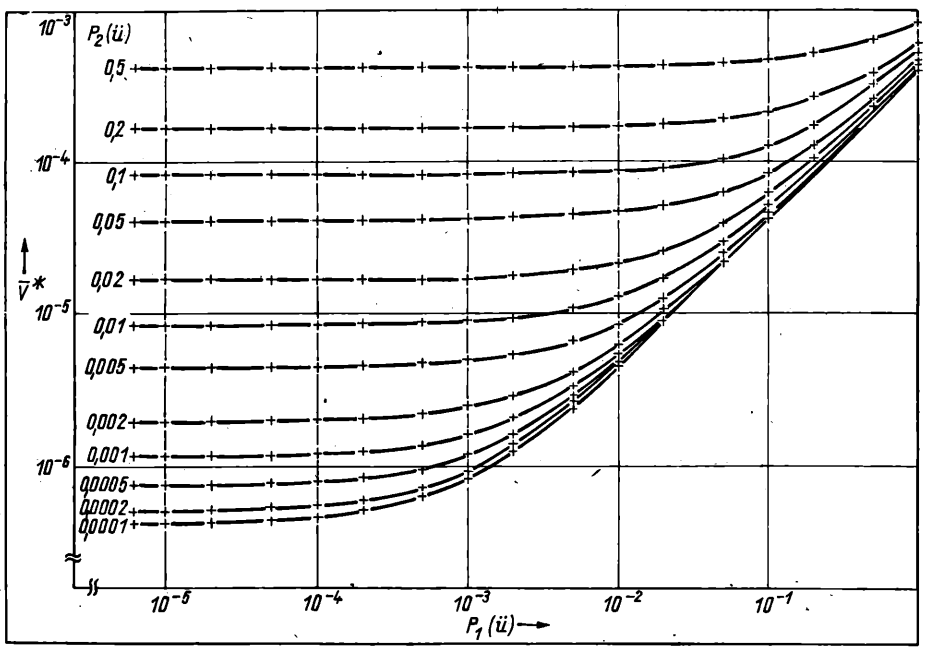


Bild 6. Entwicklung der überbeanspruchungsabhängigen Nichtverfügbarkeit in Abhängigkeit von den Überschreitungswahrscheinlichkeiten $p\,(B > S)$ in einer Ringanordnung

$\bar{V} = \bar{V}_1(1 - p_2(\ddot{u})) + \bar{V}_2(1 - p_1(\ddot{u})) + \bar{V}_{A2}\,p_1(\ddot{u}) + \bar{V}_{A1} \cdot p_2(\ddot{u})$

der Matrix $\boldsymbol{Z} = \boldsymbol{Y}^{-1}$ mit dem Änderungswert des Stroms im Knoten x.

In Anlehnung an (9) wird die Änderung des Stroms im Zweig von m nach n über die Spannungsänderungswerte direkt aus den Elementen der Kehrmatrix bestimmbar.

$$\mathrm{d}\,\underline{I}_{\mathrm{mn_x}} = \frac{\mathrm{d}\,\underline{U}_{\mathrm{mx}} - \mathrm{d}\,\underline{U}_{\mathrm{nx}}}{\underline{Z}_{\mathrm{mn}}} = \frac{\underline{Y}_{\mathrm{mx}}^{-1} - \underline{Y}_{\mathrm{nx}}^{-1}}{\underline{Z}_{\mathrm{mn}}}\,\mathrm{d}\,\underline{I}_{\mathrm{x}} = \underline{e}_{\mathrm{mn_x}}\,\mathrm{d}\,\underline{I}_{\mathrm{x}}. \quad (10)$$

Die Stromänderung auf einem Zweig von m nach n wird somit über das Produkt des Stromänderungswertes im Knoten x mit einem von der Netztopologie abhängigen Faktor berechnet. Dieser von der Netzstruktur abhängige Faktor kann als Empfindlichkeitsfaktor in Analogie zu [12] interpretiert werden. Bei Berücksichtigung komplexer Größen in Form von Impedanzen wird auch dieser Faktor zur komplexen Größe.

Die Berechnungen der erforderlichen Impedanzwerte aus der Kehrmatrix wurden über den Gauß-Jordanschen-Eliminationsalgorithmus und bei einer veränderten Netzkonstellation durch Elementeausfall über eine vereinfachte Woodbury-Gleichung [14] durchgeführt.

5.2. Lösungsansatz zur Verknüpfung von Belastungs- und Stehvermögensfunktion

Mit den für das System zur Verfügung stehenden Minimalschnittgruppen sind die Veränderungen im Zuverlässigkeitsverhalten abzuschätzen. Ausgangspunkt für die Ermittlung der veränderten Nichtverfügbarkeitskennziffer bildet Gleichung (4), die um einen belastungsabhängigen Anteil erweitert wird.

$$\bar{V}^* = \bar{V}_s^* + \bar{V}_p^* = \sum_{i=1}^{MSG1} (\bar{V}_s + \Delta\bar{V}_s^*) + \sum_{j=1}^{MSG2} (\bar{V}_p + \Delta\bar{V}_p^*) \quad (11)$$

Einzelelemente, die eine Minimalschnittgruppe 1. Ordnung repräsentieren, werden in Abhängigkeit von der Netzstruktur und den Knotenlasten unterschiedlich beansprucht und können zusätzlich unterschiedliche Stehvermögensstrukturen haben, so daß sich in jedem Belastungszeitraum eine für jedes Element i variierende Wahrscheinlichkeit der Überbeanspruchung ergibt. Die Gesamtüberlebenswahrscheinlichkeit für den Zeitraum t folgt für die Gesamtanordnung über das Produkt alle Einzelwahrscheinlichkeiten zu $\overline{p_i(\ddot{u})}$.

Bei einem streuenden Stehvermögen wird die jeweilige Elementeverfügbarkeit allgemein nach (3) zu ermitteln sein, wobei die Beanspruchungsverhältnisse über (11) beschrieben werden können. Die Verfügbarkeit der als Seriensystem aufzufassenden Minimalschnittgruppen 1. Ordnung läßt sich so in der belastungsabhängigen Form nach (12) beschreiben.

$$\bar{V}_s^* = V_s(1 - p(\ddot{u})) = V_s\left(1 - \prod_{i=1}^{MSG1} F_{si}(B_i)\right)$$
$$= V_s\left(1 - \prod_{i=1}^{MSG1} F_{si}\left(\sum_{j=1}^{m} e_{jx} I_x\right)\right). \quad (12)$$

Für den Versorgungsstrang „A"—„E" existieren weiterhin Minimalschnittgruppen 2. Ordnung. Aus dieser Menge sind für alle Elemente, für die im Ereignisfall nur ein Element im Versorgungsstrang verbleibt, die E-Faktoren zu ermitteln. Die durch die Ausfallsituation veränderte Admittanzstruktur kann in den Kehrmatrixelementen über den Woodburg-Algorithmus direkt auf den Empfindlichkeitsfaktor abgebildet werden [9].

Maximal ist für 2 · MSG2 Elemente eine E-Faktorenberechnung vorzunehmen. Bei einem Zuverlässigkeitsersatzschaltbild nach Bild 5 tritt immer dann eine Nichtverfügbarkeit der Anordnung ein, wenn ein Ausfall eines Elementes zu einem überlastbedingten Versagen des zweiten Elementes führt. Bei Nichtverfügbarkeit des Elementes 1 bzw. 2 ist die Überbeanspruchungswahrscheinlichkeit des Elementes 2 bzw. 1 zu berechnen. Da allgemein für die Parallelanordnung

$$\bar{V}_p = \bar{V}_{p1} \wedge \bar{V}_{p2} \quad (13)$$

gilt und eine überbeanspruchungsabhängige Nichtverfügbarkeit nur im Ereigniszustand eintreten soll, wird $\bar{V}_p^*$ zu

$$\bar{V}_p^* = \bar{V}_1(1 - p_2(\ddot{u})) + \bar{V}_2(1 - p_1(\ddot{u})) + \bar{V}_{A2}\,p_1(\ddot{u}) + \bar{V}_{A1}\,p_2(\ddot{u}) \quad (14)$$

für jedes der Parallelelemente nach Bild 5. Die Werte $\bar{V}_1$ und $\bar{V}_2$ ergeben sich aus der störungsbedingten Nichtverfügbarkeit nach [9] unter Berücksichtigung der zeitgleichen Arbeitsunfähigkeit (Überlappungsdauer). Daraus abgeleitet wird für jede Minimalschnittgruppe die belastungsbedingte Nichtverfügbarkeit einer Parallelanordnung zu

$$\bar{V}_p^* = \bar{V}_p + \Delta\bar{V}_p^* = \bar{V}_p + \left(\bar{V}_{A1} - \frac{\bar{V}_{A1} \cdot \bar{V}_{A2} \cdot \bar{t}_{A2}}{\bar{t}_{A1} + \bar{t}_{A2}}\right) p_2(\ddot{u})$$
$$+ \left(\bar{V}_{A2} - \frac{\bar{V}_{A1} \cdot \bar{V}_{A2} \cdot \bar{t}_{A1}}{\bar{t}_{A1} + \bar{t}_{A2}}\right) \cdot p_1(\ddot{u}) \quad (15)$$

und sind in die Berechnung des 2. Summanden in (11) einzubeziehen. Die Überbeanspruchungswahrscheinlichkeiten $p_1(\ddot{u})$ und $p_2(\ddot{u})$ können in Anlehnung an (12) nach (16)

$$p_i(\ddot{u}) = F_{si}(B_i) = F_{si} \sum_{x=1}^{m} e_{ix}^{(j)} \cdot I_x \quad (16)$$

berechnet werden, wobei sich die Empfindlichkeitsfaktoren in Abhängigkeit vom Ausfall des jeweiligen Elementes i nach (10) bestimmen.

6. Zusammenfassung

Mit dem dargestellten Lösungsansatz läßt sich die Auswirkung einer Streuung von Stehvermögenswerten auf die Systemzuverlässigkeit bei komplexen Strukturen von Energieversorgungsnetzen in erster Näherung quantitativ bestimmen. Den Schwachpunkt der Be-

trachtungsweise stellt die oft nicht exakt bestimmbare Stehvermögensfunktion von Betriebselementen dar. Bisher sind Schätzungen und Expertenbefragungen oft einzige Anhaltspunkte. Auf diesem Gebiet sind systematische Untersuchungen dringend erforderlich. Erste Testrechnungen zu einem einfachen Ringsystem lassen den Einfluß der überlastbedingten Auswirkung auf die Gesamtnichtverfügbarkeit erkennen (Bild 6). Überbeanspruchungswahrscheinlichkeiten von 0,1 % ergaben so eine etwa 1,4fache Nichtverfügbarkeit der Gesamtanordnung.

Literatur

[1] *Gerich, G.; Ufer, D.:* Die langfristige Entwicklung der Energiewirtschaft und ihre Beziehungen zur Volkswirtschaft. Energietechnik, Leipzig 32 (1982) 12, S. 441–446

[2] *Hosz, P.; Schilling, G.:* Neue Anforderungen der intensiv erweiterten Reproduktion an die Leistungsbewertung der Kombinate und Betriebe. Wirtschaftswissenschaft 31 (1983) 3, S. 364

[3] *Gallas, W.:* Intensive Nutzung der vorhandenen Produktionsmittel – ein Weg zur Steigerung des gesellschaftlichen Arbeitsvermögens und deren Realisierung im VEB EK Cottbus am Beispiel der Elektroenergieversorgung. Abschlußbericht an der Sektion 01 vom 31. 08. 1984 an der Technischen Universität Dresden

[4] *Hoffmann, J.:* Möglichkeiten zur stochastischen Bewertung von Elektroenergiesystemen. ELEKTRIE, Berlin 30 (1976) 10, S. 554–556

[5] *Stegemann, G.:* Wahrscheinlichkeitsorientierte Methoden zur Ermittlung und Bewertung von Kurzschlußstrombeanspruchungen in Elektroenergiesystemen. Dissertation B. IH Zittau 1987

[6] *Hauschild, W.:* Zur Ermittlung der Durchschlagwahrscheinlichkeiten von Hochspannungsisolierungen nach dem Vergrößerungsgesetz. Zeitschrift f. elektr. Inf. u. Energietechnik, Leipzig 11 (1981) 4, S. 313–348

[7] *Hoffmann, J.; Denisenko, N. A.:* Ein stochastisches Modell zur Bemessung von Elektroenergieanlagen. ELEKTRIE, Berlin 37 (1983) 6, S. 299–302

[8] *Uhlemann, K.:* Zur Berechnung von Zuverlässigkeitskennwerten für technische Systeme nach dem Booleschen Modell. ELEKTRIE, Berlin 38 (1984) 11, S. 431 bis 433

[9] *Gallas, W.:* Lösungsansätze für die beanspruchungsabhängige Zuverlässigkeitsanalyse in vermaschten Netzen mit einem Hilfsverfahren der Boolschen Algebra. EKC-Bericht TTH-03/86

[10] *Dreßel, W.:* Ermittlung der Zuverlässigkeitskennziffern von Umspannwerken mit Nennspannung bis 110 kV mit Hilfe eines schematisierten Näherungsverfahrens. Dissertation, IH Zittau 1978

[11] *Bitzer, B.:* Störungsanalyse und Modellbildung zur Berechnung der Versorgungszuverlässigkeit von 110-kV Netzen. Dissertation, TH Darmstadt 1981

[12] *Pfeifer, H.:* Verteilungsfunktionen von Strömen in vermaschten Netzen. ETZ A 97 (1976) 10, S. 617–618

[13] *Hollmach, D.:* Ermittlung der Belastungsverteilungsfunktionen auf Leitungssystemen mit Hilfe des Bürocomputers 5120. FS-Arbeit Reg.-Nr. E 37/86 IS Senftenberg 1986

[14] *Schultheiß, F.; Weßnigk, K. D.:* Berechnung elektrischer Energieversorgungsnetze – Übertragungsrechnung. Leipzig: VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie 1971

EA 5946

IN KÜRZE ERSCHEINT

das VEM-Handbuch Schutzmaßnahmen gegen zu hohe Berührungsspannung in Niederspannungsanlagen

von Obering. Dipl.-Ing. **Rolf Müller**

9., durchgesehene Auflage. 364 Seiten, 289 Bilder, 33 Tafeln. Bestellnummer: 554 324 4

Das seit Jahren bestens eingeführte Fachbuch — geschrieben von einem bekannten Fachmann auf dem Gebiet der Elektrosicherheit — vermittelt grundlegende Kenntnisse über Schutzmaßnahmen gegen gefährliche elektrische Durchströmungen.
Im Mittelpunkt des Buches stehen die Bedingungen, Ausführungspraktiken und Prüfmethoden für den Schutz gegen direktes und indirektes Berühren, den Potentialausgleich und die Erdung. Außerdem werden die Wirkung des elektrischen Stroms auf den menschlichen Körper und die Erste-Hilfe-Maßnahmen nach einem Elektrounfall behandelt.
Das Buch berücksichtigt die neuesten Erkenntnisse und Erfahrungen, Weiterentwicklungen und Vorschriften, auch IEC-Empfehlungen und DIN VDE-Vorschriften. Es wendet sich an den interessierten Elektrofachmann, an den Ingenieur ebenso wie an den Meister und Facharbeiter, auch an Studenten und Lehrlinge, kurzum an alle Fachleute, die sich mit dem Schutz gegen gefährliche Körperströme vertraut machen wollen oder ihre Kenntnisse auf dem genannten Gebiet vertiefen möchten.

EW 008

Arbeitsbereich und Auswahl der Nennleistung bei Staubsaugern

P.-W. Heilmann; W. Langer, Karl-Marx-Stadt

In den handelsüblichen Haushaltstaubsaugern wird der Arbeitsluftstrom im Regelfall durch eine einkreisige Motorgebläseeinheit (MGE) erzeugt. Das bedeutet, daß der Arbeitsluftstrom gleichzeitig die Kühlung des Antriebsmotors übernimmt.

1. Problemdarstellung

Bei der Dimensionierung und thermischen Prüfung von Gerät und Antriebsmotor wird in den einschlägigen nationalen Vorschriften, die auf IEC-Publikation 335-2-2 „Sicherheit von elektrischen Geräten für den Haushalt und ähnliche Zwecke" [1] basieren, von einer mittleren Leistung

$$P_m = 0{,}5\,(P_f + P_l)$$

ausgegangen. Dabei wird diese elektrische Leistung durch Drosselung des Luftstromes mittels Lochblende bei Nennspannung U_N eingestellt. Die thermische Prüfung erfolgt dann bei gleicher Blende aber mit einer Spannung von $U = 1.06\,U_N$. Der sich hierbei einstellende Volumenstrom, gleich dem Kühlluftstrom muß die im Motor entstehende Verlustwärme so abführen, daß die für die jeweilige Isolierstoffklasse zulässige Grenztemperatur der Wicklung nicht überschritten wird.
Definitionsgemäß wird davon ausgegangen, daß der Punkt der mittleren Leistungsaufnahme der ungünstigste Belastungspunkt des Motors beim Betrieb des Staubsaugers ist. Im Bild 1 sind die für den Staubsauger charakteristischen Kennlinien $P_l = f(\dot{V})$ und $\Delta p = f(V)$, aus denen das Gesamtverhalten abgeleitet werden kann, angegeben.
Die Kennlinie $\Delta P_{Gl} = f(V)$ wird nach Vorschrift ohne Reinigungsvorsatz ermittelt.
Erkennbar ist, daß der Wert P_m und der dazugehörige (Kühl-)Luftstrom maßgeblich vom Leckluftstrom beeinflußt wird. Demzufolge führt eine nutzleistungsmindernde Erhöhung des Falschluftanteils zur Anhebung der marktwirksamen Eingangsleistung P_l. Der eigentliche Arbeitspunkt ergibt sich im Betrieb mit Zubehör. Hierbei stellt das Arbeiten mit Fußbodendüse auf textilem Belag in Bezug auf Drosselung und Benutzungshäufigkeit und -dauer den kritischen Betriebsfall dar (Arbeitspunkt A_1 bzw. Punkt 5, Bild 1) Während der Benutzung des Staubsaugers wandert dieser Arbeitspunkt abhängig vom Füllgrad des Staubfilters und damit seines wachsenden Strömungswiderstandes auf der Gerätekennlinie ΔP_{Gl} zu kleineren Volumenströmen (Arbeitspunkt A_2 bzw. Punkt 4, Bild 1).

2. Untersuchungsergebnisse

Im Ingenieurbüro für Elektrogeräte wurden 5 Typen von Hand- und Bodenstaubsaugern mit mehreren Exemplaren einem Langzeitgebrauchstest im Haushalt und Prüflabor unterworfen [5]. Bild 2 enthält in der Zusammenfassung die repräsentative $P_l(\dot{V})$-Kennlinie der untersuchten Geräte mit der Lage der P_m-Punkte (Bereich 1) und dem Arbeitsbereich (Bereich 2). Zusätzlich wurde der Bereich der Leistung bei halber maximaler Luftmenge (Bereich 3) angeführt. Unter Beachtung der Sicherheit der Untersuchungsergebnisse (Leckstellen der Geräte, subjektive Beurteilung des Füllungsgrades von Staubbeutel, Anzahl der Prüflinge) können folgende Erkenntnisse abgehoben werden:

— Der Arbeitsluftstrom in realem Betrieb stellt sich je nach Gerätetyp bei leerem Staubbeutel auf 62 bis 77 % des maximalen Geräteluftstromes ein.

Dr.-Ing. *P.-W. Heilmann* und Dipl.-Ing. *W. Langer* sind Mitarbeiter im Ingenieurbüro Elektrogeräte, Außenstelle Leipzig.

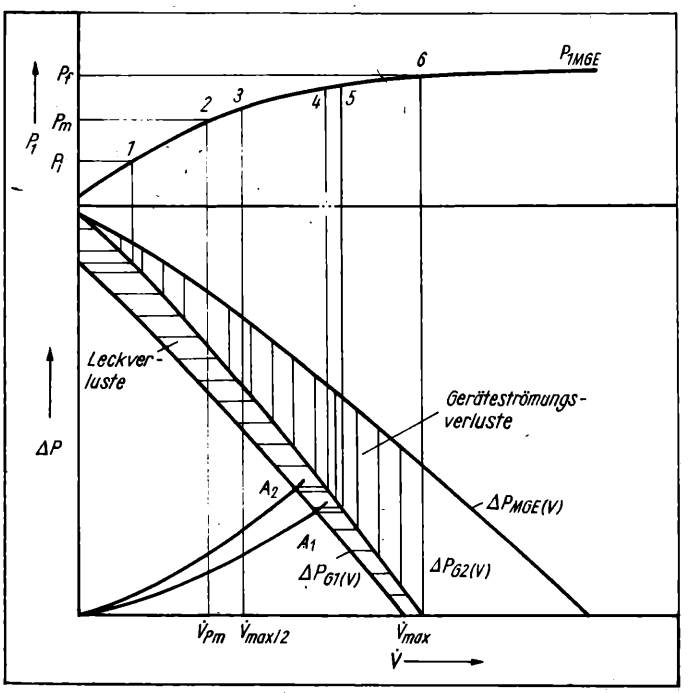


Bild 1. Verlauf der charakteristischen Kennlinien
1 Aufnahmeleistung P_1 für Geräteansaugluftstrom $\dot V = 0$; *2* Punkt mittlerer elektrischer Leistung P_m; $\dot V = \dot V_{Pm}$; *3* Aufnahmeleistung für halben maximalen Geräteluftstrom; $\dot V = \dot V_{max/2}$; *4* Aufnahmeleistung bei vollem Staubbeutel; *5* Aufnahmeleistung bei leerem Staubbeutel; *6* Aufnahmeleistung P_f für maximalen Geräteansaugluftstrom $\dot V = \dot V_{max}$; A_1 Arbeitspunkt mit Düse auf textilem Belag bei sauberem Staubbeutel; A_2 Arbeitspunkt mit Düse auf textilem Belag bei vollem Staubbeutel; $\Delta P_{MGE(\dot V)}$ Druckvolumenstrom-Kennlinie der MGE; $\Delta P_{G1(\dot V)}$ Druckvolumenstrom-Kennlinie des Orgignalgerätes; $\Delta P_{G2(\dot V)}$ Druckvolumenstrom-Kennlinie des saugseitig dichten Gerätes

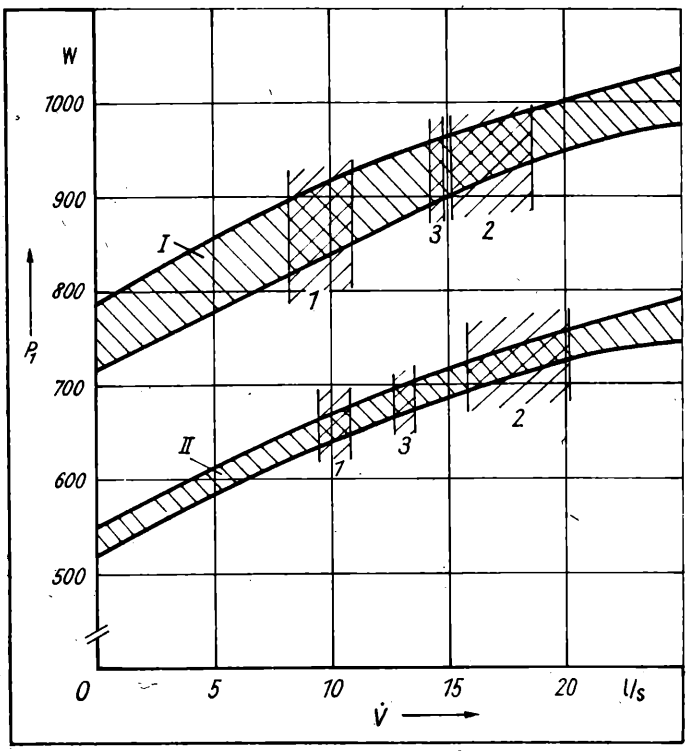


Bild 2. Aufnahmeleistungen der untersuchten Geräte und Lage der betrachteten Bereiche
1 Bereich mittlerer Leistungsaufnahme P_{1n}; *2* Arbeitsbereich auf textilem Belag (sauber/voll); *3* Bereich des halben maximalen Geräteluftstromes $\dot V = \dot V_{max/2}$; *I* 1000 W — Geräte (Bodenstaubsauger); *II* 700 W — Geräte (Hand- und Bodenstaubsauger)

— Bei vollem Staubbeutel sinkt infolge der Vergrößerung des Strömungswiderstandes der Geräteluftstrom auf 53 bis 71 % des maximalen Geräteluftstroms.

— Der Auslegungspunkt P_m für das Antriebsaggregat liegt bei einem Arbeitsluftstrom von 28···42 % des Maximalstromes $\dot V_{max}$.

3. Vorschlag für Neudefinition der Nennbelastung

Der tatsächliche Arbeitsbereich liegt damit nach Bild 2 weit oberhalb des Bereiches 1 (P_m) (Punkt 2 in Bild 1) bei einem wesentlich tieferen Temperaturniveau des Antriebsmotors. Für die Auslegung des Antriebsmotors würde der Auslegungspunkt 3 ($P_{\dot V\,max/2}$) in Bild 1 den Einsatzbedingungen entsprechen. Dieser Arbeitspunkt ist meßtechnisch mit der vorgeschriebenen Prüfanordnung nach [3] leicht zu ermitteln. Damit ist auch eine Übereinstimmung zum Belastungspunkt bei der Ermittlung von Zuverlässigkeitswerten herbeigeführt.
Mit dem erhöhten Luftstrom gegenüber dem des bisherigen Auslegungspunktes ist die sichere Kühlung der Antriebsmaschine gewährleistet.
Demzufolge wird die MGE als Hauptbauelement und gleichzeitig lebensdauerbestimmende Baugruppe des Staubsaugers bei den Prüfungen nach IEC335-2-2 mit P_m wesentlich härter als unter den real auftretenden Betriebsbedingungen geprüft. Im Zusammenhang mit der IEC-Publikation 335-1 Ausgabe 76 (Sicherheit von elektrischen Geräten für Haushalt u.ä. Zwecke) [2] sowie TGL RGW 1110 [4] (Elektrische Haushaltgeräte), in denen für eine verminderte Grenzlebensdauer höhere Betriebstemperaturen zugelassen sind, kann geschlußfolgert werden, daß die Auslegung des Antriebsmotors für den Arbeitspunkt P_m unter den heutigen Bedingungen materialökonomisch nicht vertretbar ist.

4. Zusammenfassung

Gegen eine Auslegung und Prüfung von MGE in Staubsaugern nach dem Betriebspunkt $P_1 = P_m$ sprechen zusammengefaßt folgende Faktoren:

— Der sich beim Nutzer einstellende Arbeitsbereich der MGE liegt weit außerhalb des P_m-Bereiches in Richtung höherer Volumenströme und damit niedrigerer Wicklungstemperatur. Eine Auslegung nach dem Belastungspunkt P_m führt zu materialökonomisch nicht vertretbaren Lösungen.

— Die Bestimmung des Arbeitspunktes der mittleren Leistung P_m aus dem Kaltzustand (nach [1] Betrieb 3 min mit freier Saugöffnung zur Ermittlung von P_f, anschließend 20 s mit geschlossener Saugöffnung zur Ermittlung von P_i) ist stark fehlerbehaftet.

— Die in den letzten Jahren bei Geräten hoher Aufnahmeleistung P_m geübte Praxis, durch gezielte Leckluftöffnung die Bauelemente zu kühlen, bewirkt eine Anhebung des P_m-Wertes, damit eine Verschiebung zu größeren Volumenströmen und eine Absenkung des Temperaturniveaus des Antriebsmotors. Die Folge ist aber eine Reduzierung der für die Reinigungswirkung nutzbaren Leistung.

Schlußfolgernd wird für eine ökonomisch günstigere Auslegung der Antriebsmotoren und zur einfacheren und sicheren Ermittlung des Nennbelastungspunktes vorgeschlagen, für die Dimensionierung und Prüfung von Motor und Gesamtgerät den Betriebspunkt zu wählen, der sich beim halben maximalen Geräteluftstrom einstellt:

$$P = P_1 (\dot V = \dot V_{max/2}).$$

Somit ist wünschenswert, unter den Aspekten einheitliche Auslegung und Standardisierung von Geräten, diese Änderung einzuführen.

Literatur

[1] IEC-Publikation 335-2-2. 3. Ausgabe 1983
[2] IEC-Publikation 335-1. 2. Ausgabe 1976
[3] IEC-Publikation 312. 1. Ausgabe 1969
[4] TGL RGW 1110. Ausgabe 11/88
[5] *Heilmann, P.-W.; Langer, W.:* Lage des Arbeitsbereiches auf der Δp; $\dot V$-Kennlinie bei Staubsaugern. Bericht Ingenieurbüro Elektrogeräte Karl-Marx-Stadt 1987 (unveröffentlicht)

EA 6007

Kollektorloser Gleichstrommotor für einfache Antriebe hoher Lebensdauer

U. Schult, KDT; M. Thomae, KDT; Karl-Marx-Stadt

Der kollektorlose Motor (Elektronikmotor) ist dadurch gekennzeichnet, daß durch Einhaltung eines bestimmten Funktionsprinzips (Permanenterregung, feststehende Ankerwicklung, Rotorlagegeber) der Strom in der Ankerwicklung auf elektronische Art und Weise kommutiert und das die Lebensdauer bestimmende herkömmliche, verschleißbehaftete Kommutator-Bürstensystem ersetzt wird.
Trotz großen Interesses stehen einer breiten Anwendung der Elektronikmotoren bislang im wesentlichen der relativ große Kostenaufwand für die Elektronik und die teilweise recht hohen Fertigungskosten für den mechanischen Teil des Motors entgegen. Im folgenden wird ein besonders einfacher Elektronikmotor nach dem Klauenpol-Prinzip vorgestellt, der im Ingenieurbüro Elektrogeräte Karl-Marx-Stadt entwickelt wurde.

1. Elektronikmotor nach dem Klauenpol-Prinzip

Ausgehend von der Konsumgüterentwicklung Lüfterantrieb für Haartrockner mit den folgenden Nenndaten

— Nennspannung	U_N	= 30 V Gleichspannung
— Abgabeleistung	P_{2N}	= 8 W
— Drehzahl	n_N	= 8000 min^{-1}
— Wirkungsgrad	η	= 25 %

wurde für den Elektronikmotor unter der Maßgabe minimaler Kosten sowie der Verwendung weitestgehend verfügbarer Bauteile das Klauenpol-Prinzip angewendet. Als Rotormagnet kommt der 8polig lateral über seinen Umfang magnetisierte Permanentmagnet aus Maniperm 820 (Bild 1) und als Stator der 8polige Klauenpolkäfig (Bild 2), beides Bauelemente der Fahrradlichtmaschine aus dem Betrieb Fahrzeugelektrik Ruhla, zum Einsatz.
Der Stator ist axial teilbar und nimmt den Spulenkörper mit der Ankerwicklung (Bild 2) auf. Die Ankerwicklung ist zweiphasig als Ringwicklung ausgeführt und bifilar auf dem Spulenkörper aufgebracht. Die serienmäßige Anwendung des Klauenpol-Prinzips bei Elektronikmotoren für einfache Antriebe hohe Lebensdauer ist bereits in [1] beschrieben.

1.1. Magnetischer Feldverlauf

Die in Stern geschaltete zweiphasige Motorwicklung nach Bild 3 wird unipolar angesteuert, wobei sich bei eingeschalteter Wicklung *W1* das in Bild 4 dargestellte Statorfeld ausbildet. Ist über T 2 die Wicklung *W2* eingeschaltet, führt die Ringwicklung des Stators

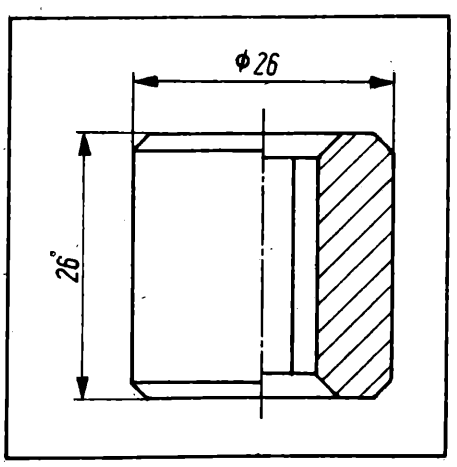


Bild 1
Hauptabmessungen des Rotormagneten

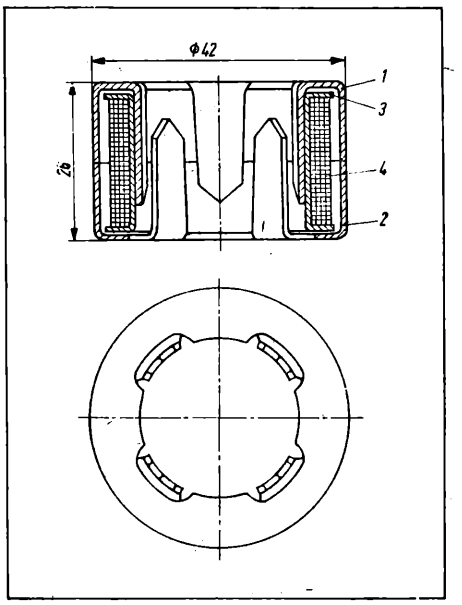


Bild 2
Aufbau und Hauptabmessungen des Stators
1 obere, *2* untere Hälfte des Klauenpolkäfigs; *3* Spulenkörper; *4* Wicklung

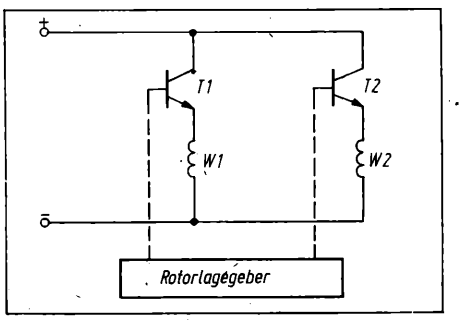


Bild 3
Motorwicklung mit Kommutierungsschaltung

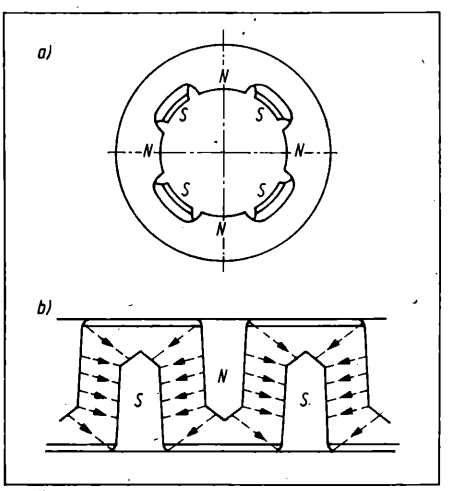


Bild 4
Magnetfeld des Stators
a) räumlich; b) in der Abwicklung

in umgekehrter Richtung Strom, was zu einer Umpolung des Statorfeldes führt. Bei der 8poligen Motorausführung muß diese Umpolung durch abwechselnde Stromführung der Wicklungen *W1*, *W2* viermal je Rotorumdrehung erfolgen, wobei die Schaltzeitpunkte der Wicklungen synchron mit dem Rotordrehwinkel wechseln. Ausgehend von der Rotorlage ist ein definierter Schalt- und Stromführungswinkel beider Wicklungen für die Drehrichtung und die Momentenwirksamkeit des Elektronikmotors von Bedeutung.
Bild 5 zeigt den lateral aufmagnetisierten Rotormagneten mit seinem 8poligen Erregerfeld. Im eingebauten Zustand durchflutet der Hauptteil des Erregerflusses über den Luftspalt und jeweils benachbarte Klauenpole sowie den Eisenrückschluß des Statorkäfigs die Ringwicklung des Motors (Bild 6). Der noch verbleibende Erregerfluß ist Streufluß, welcher sich hauptsächlich im Luftspalt und über die Klauenpolzähne schließt.
Der Hauptfluß aller vier Polpaare addiert ergibt den resultierenden Nutzfluß, der in Abhängigkeit von der Drehgeschwindigkeit des Motors eine rotatorische Gegenspannung in der Wicklung induziert, über die sich der Prozeß der elektromechanischen Energieumwandlung im Motor vollzieht.

Dipl.-Ing. *Uwe Schult* ist Abteilungsleiter Motorenentwicklung im VEB Ingenieurbüro Elektrogeräte Karl-Marx-Stadt; Dipl.-Ing. *Manfred Thomae* war bis 1988 wiss. Mitarbeiter Motorenentwicklung im VEB Ingenieurbüro Elektrogeräte Karl-Marx-Stadt.

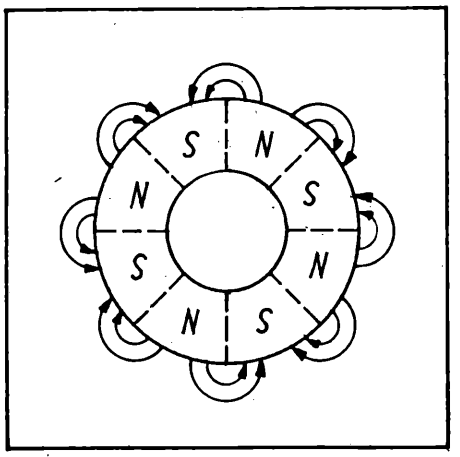


Bild 5. Magnetfeld des Rotormagneten

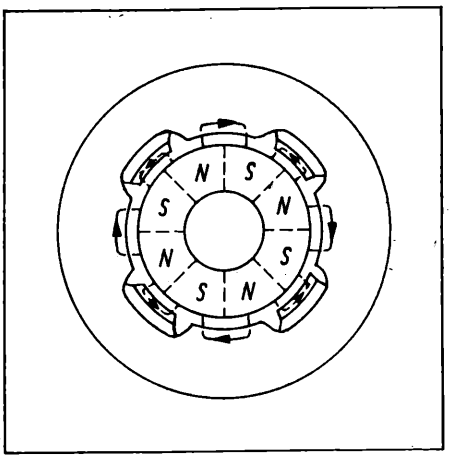


Bild 7. Erregerfeld des Rotormagneten in der Haftstellung

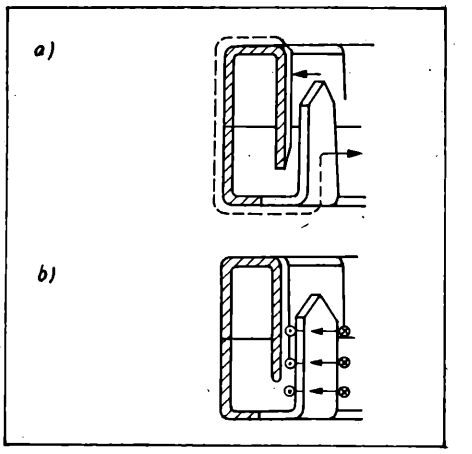


Bild 8. Erregerflußausbildung im Klauenpolstator
a) in Längsrichtung (Nutzfluß);
b) in Querrichtung (Streufluß)

1.2. Drehmomentenbildung unter idealisierten Voraussetzungen

Um die Beschreibung der Drehmomentenbildung zu vereinfachen, wird davon ausgegangen, daß

— der Erregerfluß radial gerichtet und sinusförmig über den Mantelumfang des Permanentfeldmotors verteilt ist

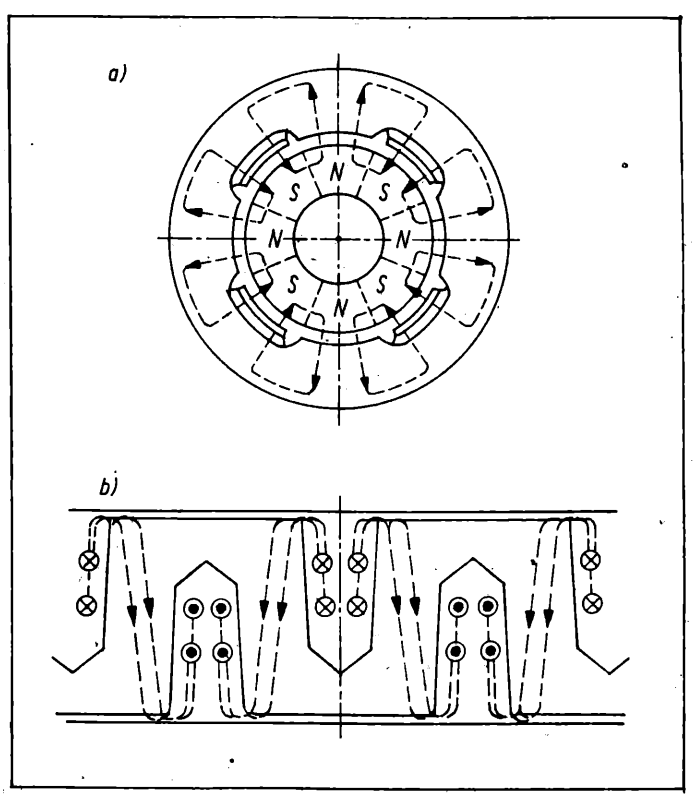
— die Ankerrückwirkung vernachlässigbar ist

— rechteckförmige Wicklungsströme angenommen werden

— die Elektronik ideales Schaltverhalten aufweist.

Das Drehmoment des Elektronikmotors setzt sich aus dem elektrisch erzeugten Drehmoment m_{el} und dem Reluktanzmoment m_r zusammen. Das Reluktanzmoment resultiert aus der unterschiedlichen magnetischen Leitwertverteilung der Klauenpolanordnung. Bei Motorstillstand (stromloser Zustand) nimmt der Rotor die in Bild 7 dargestellte Haftstellung ein, d.h., die Rotormagnete richten sich auf die Pollücken des Klauenpolstators aus. Dabei schließt sich das Erregerfeld nicht in Längs-, sondern in Querflußrichtung. In dieser Rotorstellung besteht der gesamte Erregerfluß nur aus Streufluß, der quer durch die Klauenpolzähne fließt und die Motorwicklung nicht durchflutet.

Bild 6. Nutzfluß des Rotormagneten
a) räumlich; b) in der Abwicklung



Die Ursache für dieses Verhalten liegt in der Magnetkreisausführung des Klauenpolprinzips begründet.

An der Geometrie des Klauenpolstators (Bild 8) wird deutlich, daß der magnetische Leitwert in Längsflußrichtung kleiner ist als in der Querflußrichtung. In Längsrichtung muß der magnetische Fluß einen 8mal längeren Eisenweg zurücklegen und den zusätzlich durch die axiale Teilung des Klauenpolstators hervorgerufenen Luftspalt überwinden.

Weiterhin wird in Längsrichtung der magnetische Querschnitt bis auf die Zahnbreite reduziert, wogegen für den halben Erregerfluß in Querrichtung mehr als das doppelte an Fläche (über die Zahnlänge) zur Verfügung steht. Ausgehend von dem unterschiedlichen magnetischen Leitwert in der Längs- und Querachse der Statorpolanordnung läßt sich das im Bild 9c dargestellte Reluktanzmoment ableiten. Eine resultierende Energieflußrichtung wird erst möglich, wenn durch eine definierte Stromführung der Wicklung (Bild 9b) ein mittleres elektrisches Drehmoment ungleich Null entsteht. Das elektrische Drehmoment erreicht seine maximale Größe, wenn beide Wicklungen abwechselnd über einen Drehwinkel π Strom führen und nach Bild 9a jeweils die in gleicher Richtung wirkenden Drehmomenthalbwellen wirksam werden. Der Umschaltzeitpunkt der beiden Motorwicklungen (Kommutierung) ist dabei so festzulegen, daß bei erreichter Übereinstimmung der Stator- und Polachsen der Strom von einer Wicklung auf die andere weitergeschaltet werden muß, um beide Polachsen wieder in den Zustand der Gegenphasigkeit zu bringen. Der zeitliche Verlauf des resultierenden elektrischen Drehmomentes (Bild 9d) hat zwei Nulldurchgänge bezogen auf ein Polpaar. Das Reluktanzmoment nach Bild 9c hat gegenüber dem elektrischen Drehmoment die doppelte Frequenz und demnach vier Nulldurchgänge mit abwechselnder Haft- und Kippstellung des Rotors. Die Summe der Einzelmomente ergibt das resultierende Drehmoment (Bild 9d), das einen positiv pulsierenden Zeitverlauf mit zwei Nullstellen je Polpaar aufweist.

Wenn sich der Rotormagnet bei Motorstillstand (stromloser Zustand) auf seine Haftstellung $\left(\alpha_{el} = \frac{\pi}{2} \text{ nach Bild } 9\right)$ eindreht, so ist bei diesem Drehwinkel das elektrische Drehmoment gerade maximal und der Motor kann selbständig anlaufen. Voraussetzung ist natürlich, daß ein genügend großes Reluktanzmoment existiert, das den Rotor in seine Haftstellung dreht und ihn dort hält und daß nach dem Einschalten das elektrische Drehmoment groß genug ist, um das Reluktanz-, Reib- und Lastmoment des Motors zu überwinden.

2. Konstruktionsbeschreibung

Der Elektronikmotor besteht aus

— der Motorbaugruppe mit
- Gehäuse und Lagerschild
- Stator
- Läufer

— der Elektronikbaugruppe, die die Funktion des Kommutators übernimmt, mit
- Ansteuerleiterplatte
- Lagegeberleiterplatte.

2.1. Gehäuse und Lagerschild

In Bild 10 ist die Motorbaugruppe dargestellt. Gehäuse und Lagerschild sind als Plastformteil ausgeführt. Das Gehäuse nimmt das N-seitige Rillenkugellager, den Stator und Läufer auf. Abtriebsseitig wird das D-Lagerschild mit dem Rillenkugellager aufgesteckt. Einfache Schnappverschlüsse gewährleisten eine in axialer und radialer Richtung sichere und leicht demontierbare Verbindung von Gehäuse und Lagerschild. Öffnungen an den Stirnseiten ermöglichen den Kühlluftstrom.

2.2. Stator und Läufer

Der Stator (Bild 11) besteht aus dem achtpoligen Klauenpolkäfig (Bild 2), der axial teilbar ist und dem Spulenkörper mit der Ankerwicklung. Bestandteil des Stators ist weiterhin die die Lagegeber tragende Leiterplatte. Zur Führung und für die lagerichtige Montage ist sie in Taschen des Spulenkörpers fixiert. Die gekerbte Welle (Bild 10) ist mit Metallzement im Rotormagneten eingebettet. Eine eingegossene Distanzbuchse bildet den Absatz für das abtriebsseitige Wälzlager.

2.3. Elektronische Steuerschaltung

Die elektronische Baugruppe, bestehend aus den im Bild 12 dargestellten Funktionseinheiten

— Ansteuerschaltung
— Anlaufschaltung
— Rotorlagegeber

ist auf zwei Leiterplatten

— Lagegeberleiterplatte mit den Hall-Schaltkreisen in der Abmessung 35 × 20 mm
— Ansteuerleiterplatte mit der Ansteuer- und Anlaufschaltung in der Abmessung 35 × 80 mm

untergebracht.

Ausgehend von der Rotorlage, die auf elektromagnetischem Weg mit Hilfe zweier Hall-Schaltkreise (IC B462D) kontaktlos im Luftspalt gemessen wird, werden jeweils abwechselnd die beiden Motorwicklungen über Transistoren eingeschaltet.

Da die Hall-IC's erst ab einer Mindestinduktion von 65 mT sicher einschalten und erst ab einer Maximalinduktion von 5 mT sicher wieder ausschalten, ergibt sich um den Nulldurchgang des Rotorfeldes ein toter Schaltwinkel, wo beide Motorwicklungen stromlos

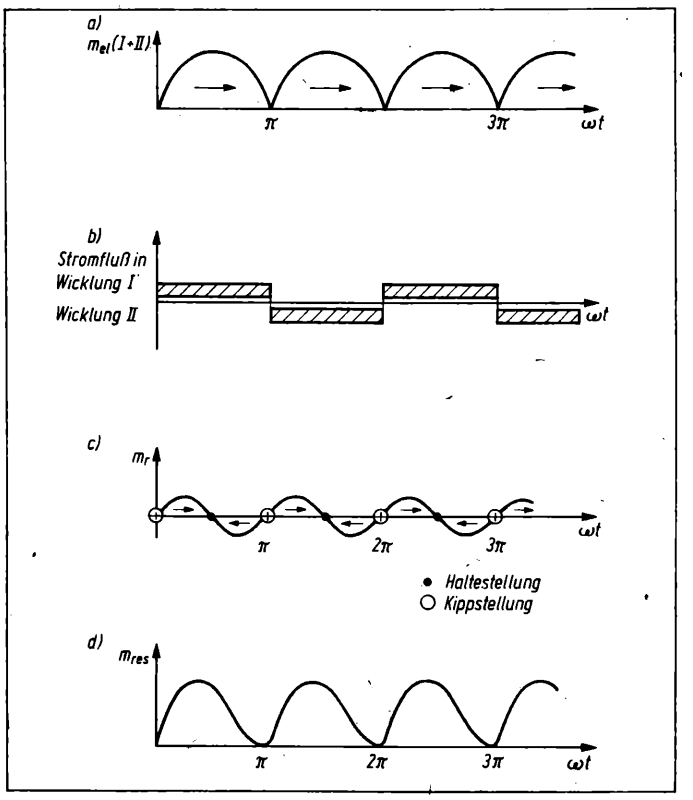
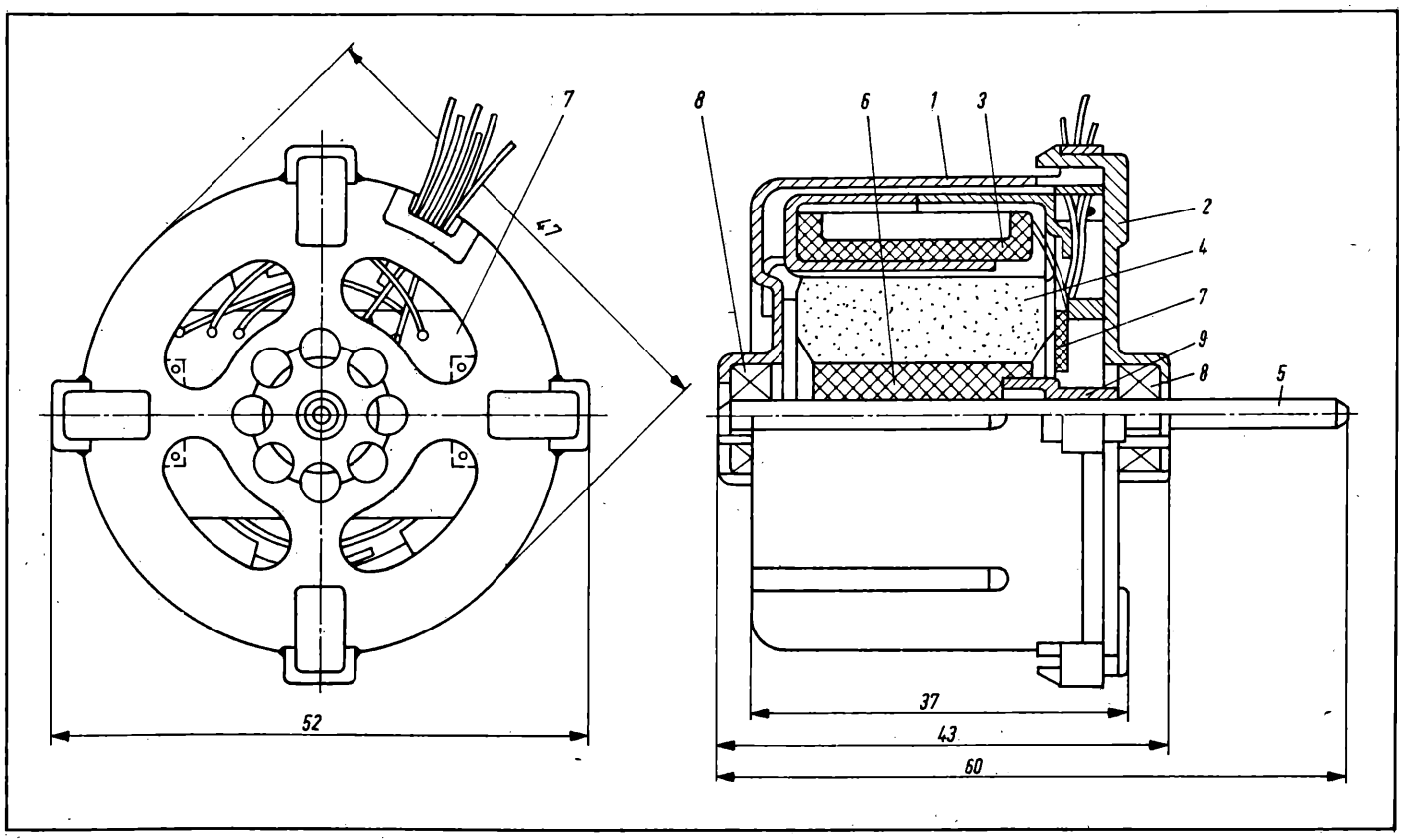


Bild 9. Drehmomentenbildung
a) elektrischer Drehmomentenanteil; b) Einschaltdauer der Wicklungen W 1 und W 2; c) Reluktanzmoment; d) resultierendes Drehmoment $m_{res} = m_{el\,(I\,+\,II)} + m_r$

sind. Ermittelt wurde für jede Motorwicklung ein elektrischer Stromführungswinkel von etwa 3/4 π. Folglich ist jeweils für einen Rotordrehwinkel von π/4 elektrisch die Wicklung stromlos, und der Motor kann in diesen Rotorstellungen nicht anlaufen.

Um aus allen Rotorstellungen einen sicheren Anlauf zu gewährleisten, wird mit Hilfe einer Anlaufschaltung im Einschaltzeitpunkt

Bild 10. Aufbau des Elektronikmotors nach dem Klauenpolprinzip
1 Gehäuse; *2* D-Lagerschild; *3* Stator; *4* Rotormagnet; *5* Welle; *6* Metallzement(Cefakitt); *7* Lagegeberleiterplatte; *8* Rillenkugellager 623-2 Z; *9* Distanzbuchse



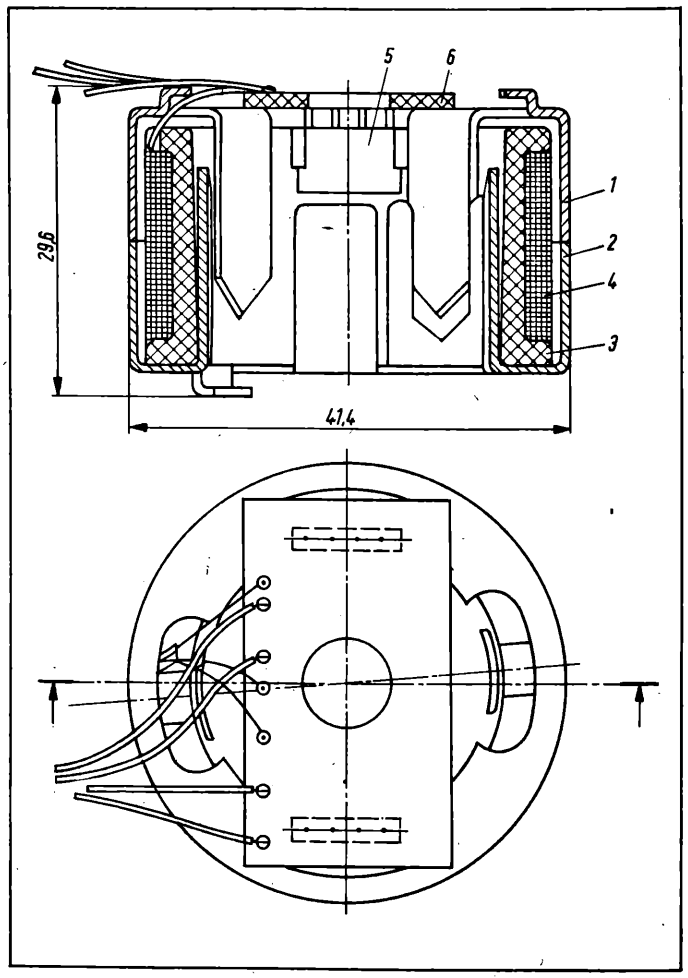


Bild 11. Aufbau des Stators
1 obere, *2* untere Hälfte des Klauenpolkäfigs; *3* Spulenkörper; *4* Wicklung; *5* Hall-IC; *6* Lagegeberleiterplatte

des Motors eine der beiden Motorwicklungen kurzzeitig mit einem Stromimpuls beauflagt, der den Rotor aus seinem toten Drehwinkel herausbringt. Der Rotorlagegeber übernimmt dann die Kommutierung des Wicklungsstroms, wodurch sich der Motor drehwinkelabhängig selbst steuert. Von den beiden gegenüber auf der Lagegeberleiterplatte angebrachten Hall-IC's reagiert der eine auf den Südpol, der andere auf den Nordpol des Rotormagneten. Jeder Hall-IC steuert direkt über eine Transistorschaltstufe die Motorwicklung an, wodurch ein drehwinkelabhängiges Umschalten des Ankerstromes innerhalb der beiden Wicklungen bewirkt wird. Durch Verdrehen der Lagegeberleiterplatte um die Polradachse ist der Schaltwinkel der Wicklung und damit die Drehrichtung des Elektronikmotors einstellbar. Verkürzen der Einschaltdauer eines der beiden Hall-IC's bis zum völligen Abschalten einer Wicklung ermöglicht eine Drehzahlstellung auf etwa 50 % der Nenndrehzahl. Allerdings muß schaltungstechnisch gewährleistet sein, daß der Motor erst sicher anläuft, bevor die Drehzahlstellung wirksam wird.

3. Erprobungsergebnisse

Aus den Betriebskennlinien in Bild 13 ist zu erkennen, daß die eingangs formulierten Nenndaten erfüllt werden. Auffällig ist der niedrige Wirkungsgrad, der im Nennbereich bei einer Belastung von 1 Ncm 23···26 % beträgt. Unter Ausnutzung des vorhandenen Wicklungsraumes sind verschiedene Wicklungsvarianten hinsichtlich einer Optimierung des Wirkungsgrades untersucht worden, die aber insgesamt keine nennenswerte Verbesserung brachten.

3.1. Abschätzung der Verluste bei Nennbetrieb

Mit Hilfe der Nenndaten, ermittelt aus den Betriebskennlinien nach Bild 13, sind die Motorverluste abschätzbar:

— Stromwärmeverluste 9 W
— Ummagnetisierungsverluste 8 W
— elektronische Schaltverluste 6 W
— Reibungsverluste 1 W.

Die Gesamtverluste ergeben sich damit aus der Addition zu 24 W. Die Differenz zur tatsächlichen Verlustleistung von 27 W ergibt

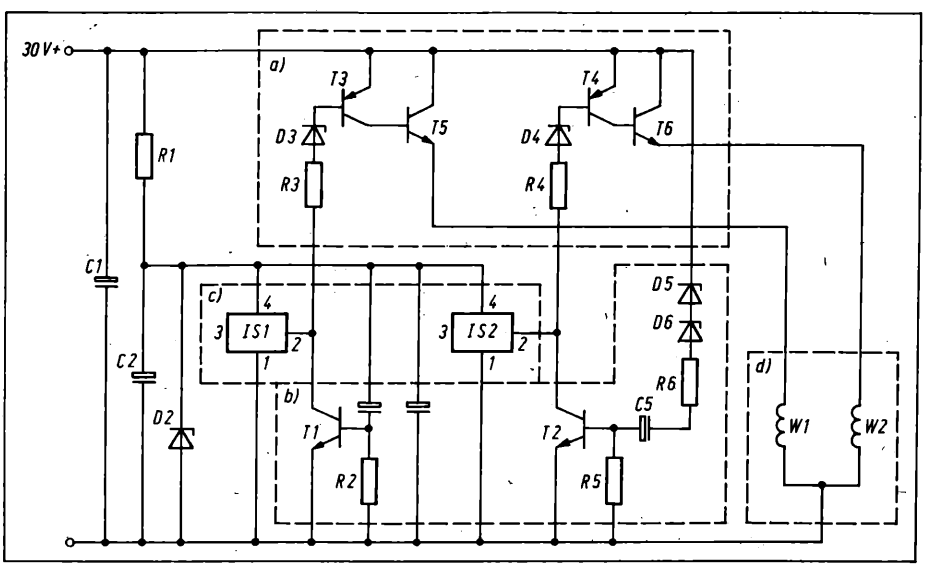
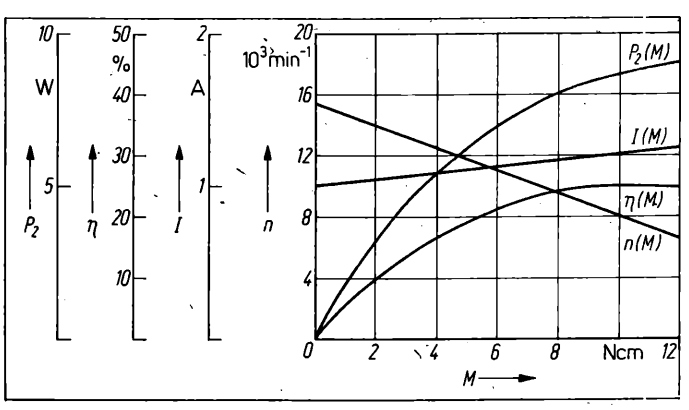


Bild 12. Stromlaufplan des Elektronikmotors
a) Ansteuerschaltung; b) Anlaufschaltung; c) Rotorlagegeber; d) Motorwicklung ▶

Bild 13. Betriebskennlinien ▼



sich aus der Nichtberücksichtigung der Oberwellenverluste. So sind, abgesehen von den Reibungsverlusten, die einzelnen Verlustanteile mit jeweils 20···30 % an der Energiebilanz des Motors beteiligt. Unter Berücksichtigung dessen, daß die Ummagnetisierungsverluste in Abhängigkeit von der Ummagnetisierungsfrequenz der Beziehung

$$P_{Vu} \sim \left(\frac{f_u/\mathrm{Hz}}{50\,\mathrm{Hz}}\right)^{1,6}$$

genügen, und daß die elektronischen Schaltverluste linear von der Ummagnetisierungsfrequenz abhängen $P_{Ve} \sim f_u$, ist eine Wirkungsgradverbesserung nur durch Reduzierung der Nenndrehzahl möglich. Bei einer Nenndrehzahl von 3000 min^{-1} ist für einen Elektronikmotor nach dem Klauenpolprinzip ein Wirkungsgrad von 40 % real.

3.2. Auswertung der Dauerlaufversuche

Ausgehend vom vorgesehenen Einsatzzweck des Lüfterantriebs wurden Mustermotore mit Axiallüftern bestückt und im Nennarbeitspunkt betrieben. Ein Teil des Luftstromes wurde zur Kühlung der Motoren und der Schalttransistoren benutzt. Um die sichere Funktion der Anlaufschaltung zu überprüfen, erfolgte der Dauerlauf in Intervallen mit 17 Minuten Betrieb und 3 Minuten Pause.

Die Dauerlaufversuche erbrachten den Nachweis einer Lebensdauer größer 5000 Stunden. Die Elektronikbaugruppe mit der gewählten Form der Anlaufbeschaltung hat die erwarteten Zuverlässigkeitsanforderungen sicher erfüllt.

4. Zusammenfassung

Mit dem vom Ingenieurbüro Elektrogeräte Karl-Marx-Stadt entwickelten Elektronikmotor nach dem Klauenpolprinzip wird eine Antriebslösung vorgestellt, die für einfache Anwendungsfälle in Abhängigkeit von den Antriebsforderungen einen kostengünstigen Kompromiß zwischen dem notwendigen Elektronikaufwand und der Motorkonstruktion darstellt. Die weitestgehend verfügbaren Teile wurden konstruktiv so aufeinander abgestimmt, daß die geforderten Leistungs- und Lebensdauerparameter nachgewiesen werden konnten. Ein weiterer Schwerpunkt der Arbeit bestand darin, für das Klauenpolprinzip den Feldaufbau, die Drehmomentenbildung, die Anlaufproblematik und die Frage nach dem erzielbaren Wirkungsgrad näher zu untersuchen. So stellt schließlich für Antriebsaufgaben, bei denen der Wirkungsgrad eine untergeordnete Bedeutung hat, dagegen die Zuverlässigkeit in Verbindung mit minimalem Kostenaufwand für den Antrieb eine dominierende Rolle spielt, der Elektronikmotor nach dem Klauenpolprinzip eine mögliche Alternative dar.

Literatur

[1] *Dittrich, D.; Held, S.; Lindner, J.:* Bürstenlose Gleichstrommotoren für einfache Antriebe hoher Lebensdauer. Feinwerktechnik und Meßtechnik, München 93 (1985) 4, S. 177–178

EA 6058

Zur Lösung Ihrer Steuerungsprobleme bieten wir Ihnen zur Lieferung ab II. Halbjahr 1990 und Nachfolgejahre

Mikrorechnersteuerungen TES 8081 – MRS 701

Wichtige Parameter:

- leistungsfähiges Softwarekonzept
- 26 Eingänge, 20 Ausgänge
- Standardisierte Schnittstellen mit Anschlußmöglichkeiten für komfortable Programmiertechnik
- 8-Bit-Mikroprozessor

Ihre Anfragen richten Sie bitte an:

VEB Textimaelektronik
Abt. Absatz
Matthesstraße 57
Karl-Marx-Stadt
9003
Tel. 27 21 18

? WERDEN SIE GUT INFORMIERT ?

WIR KÖNNEN IHNEN HELFEN MIT

- der DATENBANK „Automatisierungsgerätetechnik"
- dem Datenbanksystem MIDOS

Die DATENBANK umfaßt folgende Fachgebiete:

- Steuerungs- und Regelungstechnik
- Meßtechnik
- Niederspannungsschalt- und Schutztechnik
- Relais- und Relaisschutztechnik
- Leistungselektronik
- Fertigungstechnik für elektronische Baugruppen
- Querschnittsgebiete der Elektronik und Mikroelektronik

Wie bieten Ihnen

- Recherchen, selektive Informationen, thematische Teilfonds in Papierform

UND

- die o.g. Leistungen auf Diskette, wenn Sie selbst in den Datenbeständen recherchieren möchten. Das setzt voraus, daß Sie im Besitz von MIDOS — dem leistungsfähigen Datenbanksystem sind.
- MIDOS gibt es als 8-Bit-Variante für alle gängigen Rechnertypen.
- MIDOS gibt es als 16-Bit-Variante.
- MIDOS hilft auch, Ihr persönliches Informationsproblem zu lösen.
- MIDOS ist einsetzbar
  - — in der wissenschaftlich-technischen Information
  - — im Bibliothekswesen
  - — im Archivwesen
  - — in Registriersystemen
  - — in Rapportsystemen/Management

Zu weiteren Informationen stehen wir Ihnen gerne zur Verfügung. Rufen Sie uns an!

Berlin 4388603

Elektro-Apparate-Werke Berlin-Treptow
Zentrum für Forschung und Technologie
Leitstelle WTI
Storkower Str. 101, Berlin, 1055

Flacher Gleichstrommotor für Elektrohaushaltgeräte

U. Schult, KDT, Karl-Marx-Stadt

In Elektrohaushaltgeräten der Kategorie Handrühr- und -mixgeräte sowie Mehrzweckschneider wird gegenwärtig fast ausnahmslos der Einphasen-Reihenschluß-Kommutatormotor als Antrieb eingesetzt, der bezüglich seiner Betriebsparameter und Einbaubedingungen auf diesen ganz speziellen Anwendungsfall zugeschnitten ist.
Im Kombinat Elektrogerätewerk Suhl werden für diesen Anwendungsfall jährlich etwa 2 Millionen Antriebe hergestellt. Solche Stückzahlen erfordern in zunehmendem Maße eine weitestgehend automatisierte Fertigung, die ihrerseits eine automatisierungsgerechte Konstruktion und Auslegung des Antriebs voraussetzt. Infolge der ständigen Weiterentwicklung der permanent-magnetischen Werkstoffe gewinnt der Gleichstrom-Kleinantrieb zunehmend an Bedeutung, zumal er durch die Reduzierung der Teileanzahl im Erregersystem und durch den Fortfall der Erregerwicklung gegenüber dem Einphasen-Reihenschluß-Kommutatormotor bessere Voraussetzungen für eine automatisierungsgerechte Konstruktion bietet.
Das Ingenieurbüro Elektrogeräte Karl-Marx-Stadt stand vor der Aufgabe, im Zusammenhang mit dem Elektrohaushaltgerät Mehrzweckschneider Untersuchungen zum magnetischen Kreis permanenterregter Gleichstromantriebe durchzuführen, mit dem Ziel, einerseits eine automatisierungsgerechte Fertigung zu erreichen, andererseits die Forderung nach maximaler Bauhöhe von 45 mm bei einer Aufnahmeleistung von $P_1 = 100$ W und Nenndrehzahl von 10000 min^{-1} zu erfüllen.

1. Aufbau des magnetischen Kreises

Aus ökonomischer Sicht ist es erforderlich, den Magnetkreis optimal an den Motor anzupassen, um mit einem Minimum an Magnetvolumen den erforderlichen Erregerfluß bei verschiedenen Belastungszuständen des Motors zu erreichen. Außerdem ist zur Reduzierung der Fertigungszeit der magnetische Kreis so auszulegen, daß eine weitestgehend automatisierte Fertigung und Montage ermöglicht wird. Unter der Voraussetzung einer zweipoligen Ausführung des PM-Antriebs und Verwendung des anisotropen Magnetwerkstoffes Maniperm 860 der Keramischen Werke Hermsdorf sind prinzipiell folgende Ausführungsformen des magnetischen Kreises möglich:

— segmentförmige Permanentmagnete, angeordnet in symmetrischer oder asymmetrischer Ausführung (Bilder 1a und 1b)
— quaderförmige Permanentmagnete, angeordnet in symmetrischer oder asymmetrischer Ausführung (Bilder 2a und 2b).

Die asymmetrischen Ausführungsformen nach den Bildern 1b und 2b werden auf Grund der mangelhaften Ausnutzung des Magnetvolumens infolge Feldverzerrung, Streuung und der daraus resultierenden Kommutierungsprobleme aus der weiteren Betrachtung ausgeklammert.

1.1. Ausführung mit segmentförmigen Permanentmagneten

Allgemein üblich ist der Aufbau des magnetischen Kreises mit segmentförmigen Permanentmagneten (anisotropes Magnetmaterial) oder mit ringförmigen Permanentmagneten (isotropes Magnetmaterial). Sie umschließen den Anker und sind in einem ringförmigen Gehäuse angeordnet, welches gleichzeitig als magnetischer Rückschluß dient (Bild 1a).
Aus elektromagnetischer Sicht gestattet diese Anordnung die energetisch optimale Ausnutzung des Magnetmaterials. Nachteilig ist besonders die Ausführung des Magnetmaterials als Segment. Das Schleifen des Innen- und Außenradius erfordert höchste Präzision bei Einhaltung enger Toleranzen, um zum einen Luftspalte zwischen Rückschluß und Außenradius der Magnetsegmente und damit Energieverluste zu vermeiden, zum anderen Schwankungen der Luftspaltabmessungen zwischen dem Innenradius des Magnetsegmentes und dem Anker auszuschließen. Aus diesem Grunde ist der kostenbestimmende Faktor die aufwendige Schleiftechnologie des Innen- und Außenradius.
Die Herstellung des Rückschlußringes, der entweder aus nahtlos gezogenem Rohr mit eng tolerierter Innenbohrung oder aus gerolltem und geschweißtem Rohr mit nachträglicher Bearbeitung der Innenbohrung besteht, ist ebenfalls kostenintensiv.
Nachteilig ist weiterhin die nicht montagefreundliche, aufwendige Befestigung der Magnetsegmente durch Klammern, Formfedern oder Klebemittel im Rückschlußring.
Schließlich steht die aus der beschriebenen Magnetanordnung resultierende Bauhöhe des Motors, die sich aus Ankerdurchmesser, doppeltem Luftspalt, doppelter Segmenthöhe und doppelter Rückschlußhöhe ergibt, der Forderung nach extrem flacher Ausführung des Motors entgegen.

1.2. Ausführung mit quaderförmigen Permanentmagneten

Nach [1] und [2] sind Ausführungsbeispiele des Aufbaus des magnetischen Kreises bekannt, bei denen die Permanentmagnete in Form von Quadern diametral zum Anker angeordnet und durch Rückschlußbügel zur Leitung des magnetischen Flusses miteinander verbunden sind (Bild 2a).
Vorteilhaft bei dieser Anordnung ist, daß die Fertigungskosten der quaderförmigen Magnetblöcke auf Grund der einfach zu schleifenden gegenüberliegenden Planflächen erheblich geringer sind als jene, welche durch das aufwendige Schleifen des Innen- und Außenradius bei segmentförmigen Permanentmagneten entstehen. Die Trennung des magnetischen Rückschlusses mit seiner eng tolerierten Innenbohrung in zwei Rückschlußbügel (zweipolige Ausführung) gestattet die Anwendung einfacher und damit kostengünstiger Technologien zur Herstellung, z.B. Stanz- und Biegeverfahren.
Die Trennung des magnetischen Rückschlusses in zwei Rückschlußbügel gestattet weiterhin die Anwendung einfacher Montagetechnologien, da die Elemente des magnetischen Kreises in einer Ebene aneinandergereiht werden, wohingegen sonst der Anker in einem aufwendigen Fügeprozeß in den vorgefertigten Rückschlußring einzubringen ist.
Ein weiterer entscheidender Vorteil besteht in der Möglichkeit, bedingt durch die diametral angeordneten quaderförmigen Permanentmagnete, die Bauhöhe des Motors zu minimieren, die ausschließlich durch den Ankerdurchmesser, den doppelten Luftspalt und die doppelte Rückschlußbügelhöhe bestimmt wird.
Die prinzipbedingte Führung des magnetischen Flusses bei diametral angeordneten Permanentmagneten nach Bild 2a hat den entscheidenden Nachteil, daß sich das vom stromdurchflossenen Anker aufgebaute Ankerquerfeld über den Arbeitsluftspalt und den Rückschlußbügeln maximal aufbauen kann und in der Folge zu einer unerwünschten Abschwächung und Verzerrung des Erregerflusses führt. Damit wird die energetische Ausnutzung der Permanentmagnete erheblich reduziert. So hat sich diese Anordnung des magnetischen Kreises trotz seiner Vorteile nicht durchgesetzt.
Der prinzipielle Feldverlauf ist in Bild 3 dargestellt.

2. Variante mit quaderförmigen Permanentmagneten

Ziel der Untersuchungen war es, den magnetischen Rückschluß bei der Ausführungsform des magnetischen Kreises mit diametral angeordneten quaderförmigen Magneten so zu gestalten, daß eine Ausbildung des Ankerquerfeldes, das zu einer Verzerrung bzw. Schwächung des Erregerflusses führt, weitestgehend verhindert wird.

2.1. Feldaufbau

Ausgehend vom vorgesehenen Anwendungszweck wurden die Hauptabmessungen des magnetischen Kreises gemäß Bild 4 ermittelt.
Um die Ausbreitung des Ankerquerfeldes gemäß Bild 3 wirksam zu verhindern, wurden die Rückschlußbügel in der neutralen Zone des Erregerfeldes in axialer Richtung geschlitzt mit dem Ziel, den magnetischen Widerstand zwischen den entstandenen Abschnitten des Rückschlußbügels sehr viel größer zu machen als der magnetische Widerstand zwischen Arbeitsluftspalt, Rückschlußbügel und Anker ist. Bild 5 zeigt die untersuchten möglichen Ausführungsformen, wobei sich die Anordnung nach Bild 5c aus technologischer Sicht als die günstigste Variante erweist.
Da sich die Luftspaltinduktion B_L entsprechend dem Quotienten der Magnetfläche A_m/Polschuhfläche A_L verhält, besteht gemäß der

Dipl.-Ing. *Uwe Schult* ist Abteilungsleiter Motorenentwicklung im Ingenieurbüro Elektrogeräte Karl-Marx-Stadt.

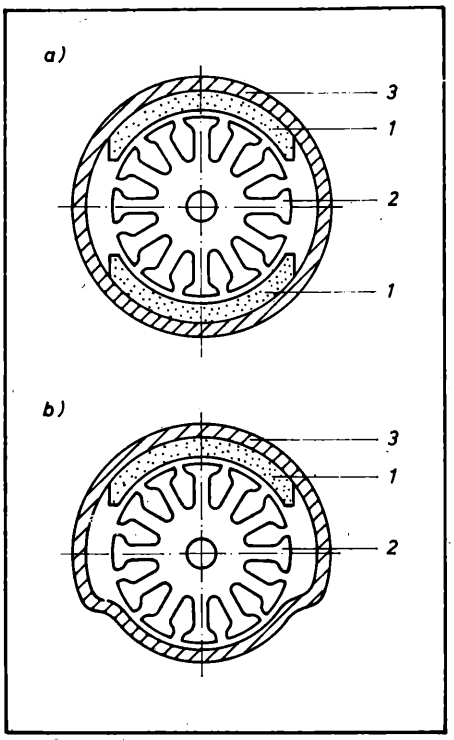


Bild 1. Magnetkreis mit segmentförmigen Permanentmagneten
a) symmetrische; b) unsymmetrische Anordnung
1 Permanentmagnet; *2* Anker; *3* Rückschluß

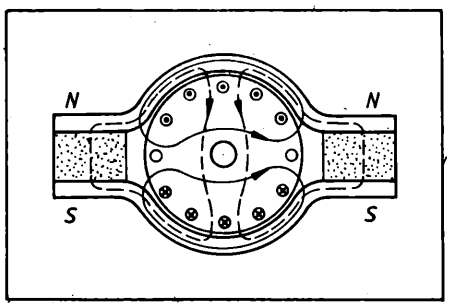


Bild 3. Feldaufbau im Magnetkreis mit quaderförmigen Permanentmagneten
– – – – Erregerfeld
——— Ankerquerfeld

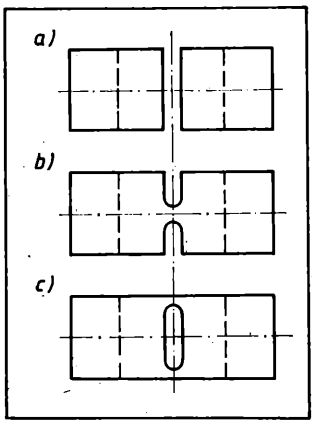


Bild 5. Mögliche Ausführungsformen des Rückschlußbleches
a) getrennt; b) seitlich geschlitzt; c) mittig geschlitzt

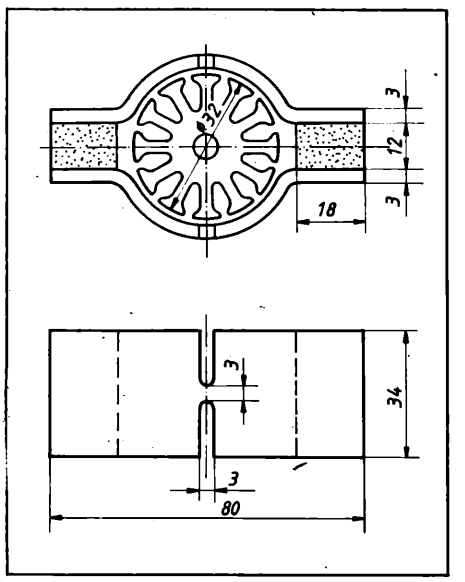


Bild 4. Hauptabmessungen des untersuchten Magnetkreises mit quaderförmigen Permanentmagneten

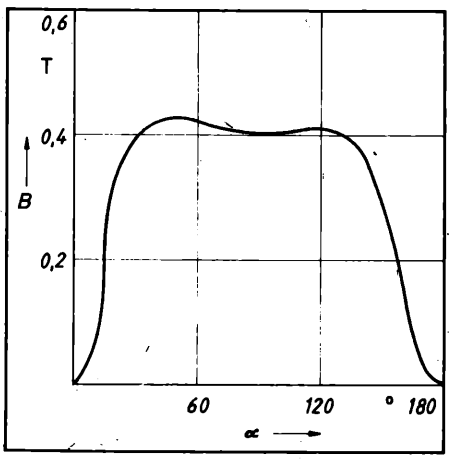


Bild 6. Induktionsverteilung im Luftspalt

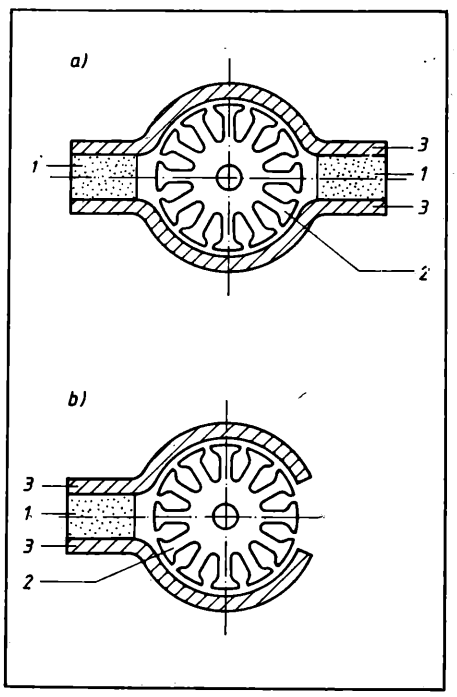


Bild 2
Magnetkreis mit quaderförmigen Permanentmagneten
a) symmetrische;
b) unsymmetrische Anordnung
1 Permanentmagnet;
2 Anker; *3* Rückschluß

Beziehung

$$B_L = 2\frac{A_m}{A_L}B_m$$

die Möglichkeit, die Luftspaltinduktion für die Ausführungsform des magnetischen Kreises nach Bild 2 anzuheben (Flußkonzentration). Dagegen ist bei der Magnetkreisanordnung nach Bild 1 $B_L = B_m$, und es bestehen nur geringfügige Möglichkeiten zur Erhöhung der Luftspaltinduktion (axiale Verlängerung des Magnetsegmentes über die Ankerlänge hinaus).

Ausgehend von den im Bild 4 angegebenen Hauptabmessungen und den magnetischen Kennwerten des Maniperm 860 wird eine mittlere Luftspaltinduktion von 0,4 T erreicht.

Die Induktionsverteilung $B_L = f(\alpha)$, ermittelt an einem Versuchsmuster mit einem Nennstrom $I = 0{,}45$ A entsprechend einem Ankerstrombelag von 125 A/cm, zeigt Bild 6. Es ist deutlich zu erkennen, daß der Einfluß des Ankerquerfeldes weitestgehend eleminiert ist und daß die feldfreie Zone im Bereich der neutralen Zone gute Kommutierungsbedingungen erwarten läßt.

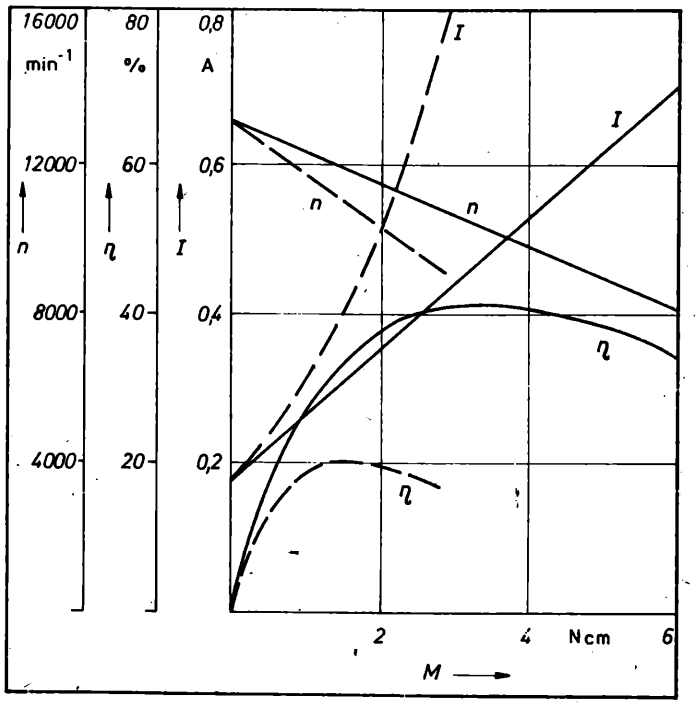
2.2. Kommutierung

Unabhängig von der Anordnung des magnetischen Kreises beträgt für den Permanentfeldmotor die am Anker anliegende Spannung über die vorgeschaltete Zweiweggleichrichtung etwa 230 V.

Im Gegensatz dazu liegt am Anker des Einphasen-Reihenschluß-Kommutatormotors, bedingt durch die Erregerwicklung, eine Spannung von etwa 160 V an. Zur Gewährleistung einwandfreier Kommutierungsbedingungen für den vorgesehenen Anwendungsfall muß als Folge ein 12nutiges Ankerblech mit einem 24lamelligen Kommutator zum Einsatz kommen, dagegen beim Einphasen-Reihenschluß-Kommutatormotor ein 8nutiges Ankerblech mit einem 16lamelligen Kommutator ausreichend ist. Gleichzeitig ist abzusehen und durch nachfolgende Messungen bestätigt, daß der Funkentstöraufwand für den Permanentfeldmotor auf Grund der nicht vorhandenen dämpfenden Wirkung der Erregerwicklung erheblich ansteigt. An Versuchsmustern auf Basis der im Bild 4 angegebenen Hauptabmessungen mit Variation der Rückschlußbügel nach Bild 5 wurden die Betriebskennlinien ermittelt (Bild 7).

Der Einfluß des geschlitzten Rückschlußbleches zur Unterdrückung des Ankerquerfeldes ist erheblich. Während die Grenzen der Kommutierungsfähigkeit bei Einsatz des ungeschlitzten Rückschlußbleches nach Bild 5a bereits beim Nennmoment von 2 Nem erreicht sind, ist bei Anwendung des geschlitzten Rückschlußbleches nach Bild 5c ein Betrieb des Permanentfeldmotors unter einwandfreien Kommutierungsbedingungen bis zum dreifachen Nennmoment mit Anstieg des Wirkungsgrades auf etwa 40 % gegenüber 20 % möglich.

Im Bild 8 ist die Abhängigkeit von n, J und η als Funktion der Bürstenverschiebung aus der neutralen Zone für das Versuchsmuster nach Bild 4 mit dem geschlitzten Rückschlußblech (Bild 5c) dargestellt. Die günstigen Kommutierungsbedingungen werden



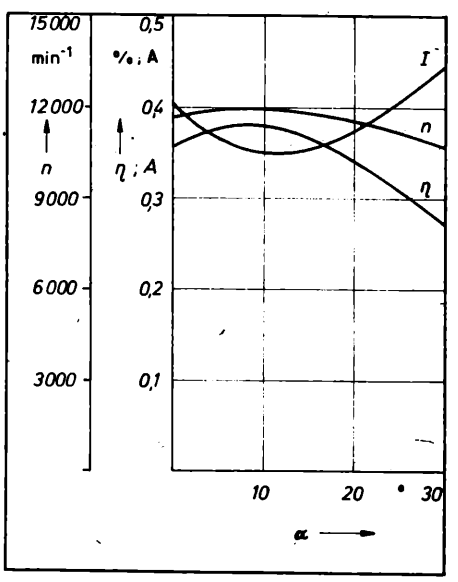


Bild 7
Betriebskennlinien für verschiedene Rückschlußbleche
– – – – ungeschlitzt;
——— seitlich geschlitzt

Bild 8
Betriebskennwerte in Abhängigkeit von der Verschiebung der neutralen Zone

Bild 10
Betriebskennlinien für verschiedene Magnetformen
——— quaderförmige Permanentmagnete
– – – – segmentförmige Permanentmagnete

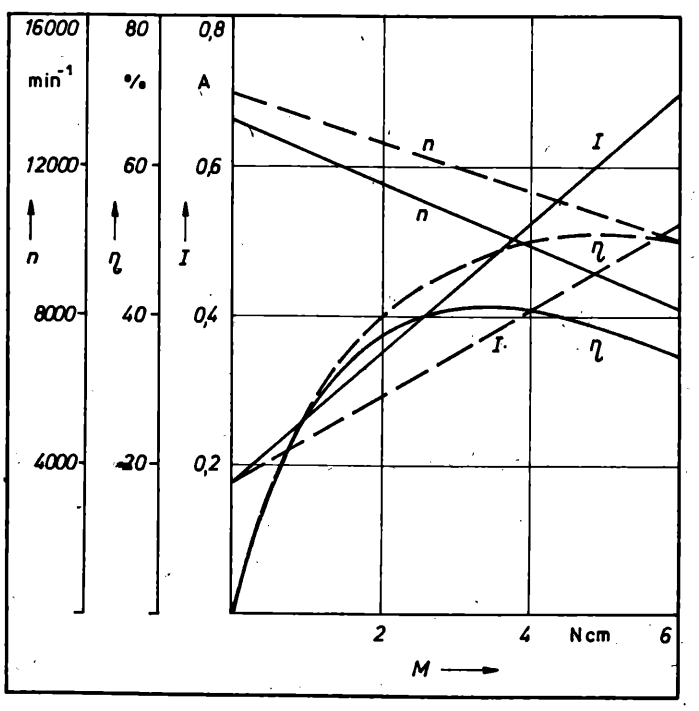
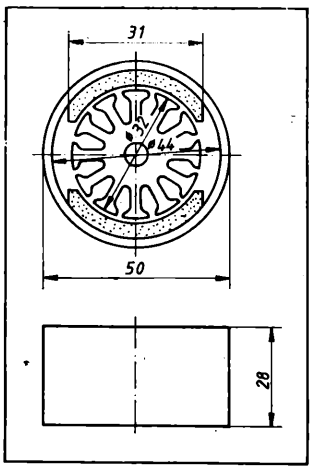


Bild 9. Hauptabmessungen des untersuchten Magnetkreises mit segmentförmigen Permanentmagneten



bei einer Verschiebung der neutralen Zone um 7,5° — entsprechend einer halben Lamellenteilung gegen die Drehrichtung — erreicht.

2.3. Vergleich der Betriebskennlinien

Um einen Vergleich der Ausführungsform des magnetischen Kreises gemäß Bild 4 mit der üblichen Anordnung der Permanentmagnete in Segmentform nach Bild 1 a zu erhalten, sind Versuchsmuster mit den im Bild 9 dargestellten Hauptabmessungen aufgebaut und die Betriebskennlinien ermittelt worden.

Unter der Voraussetzung eines annähernd gleichen Magnet- und Ankervolumens bei gleichem Ankerdurchmesser weist die Ausführungsform mit segmentförmigen Permanentmagneten die besseren Kennwerte insbesondere hinsichtlich des Wirkungsgrades und der Überlastungsfähigkeit, auf (Bild 10). Auf Grund der im Abschn. 1 genannten prinzipbedingten Nachteile ist dieses Ergebnis zu erwarten. Es zeigt andererseits aber auch, daß im Vergleich mit Bild 7 durch eine gezielte Gestaltung der Geometrie des geschlitzten Rückschlußbleches und des Abstandes Magnet zum Anker sowie Magnethöhe und Ankerdurchmesser (Beeinflussung des Streufaktors) eine weitere Verbesserung der Betriebskennwerte möglich ist.

3. Zusammenfassung

Mit den im Ingenieurbüro Elektrogeräte Karl-Marx-Stadt durchgeführten Untersuchungen an Permanentfeldmotoren mit quaderförmigen Magneten im Vergleich zum klassisch angeordneten Magnetkreis mit segmentförmigen Magneten konnte nachgewiesen werden, daß durch gezielte Maßnahmen (Minimierung der Auswirkungen des Ankerquerfeldes auf das Erregerfeld, Reduzierung des Streufaktors für bestimmte Belange, wie Verringerung der Bauhöhe, automatisierungsgerechte Montage oder Minimierung der Kosten für das Magnetmaterial) der Einsatz von quaderförmigen anstelle von segmentförmigen Permanentmagneten im Leistungsbereich von etwa 100 W durchaus eine mögliche Alternative darstellt.

Literatur

[1] *Mohr, A. W.:* Bemessung von Dauermagneten für kleine Gleichstrommotoren. ETZ-A, 82 (1961) 15, S. 481–485

[2] *Mimmel, H.; Tendeloo, K.:* Eigenschaftsuntersuchungen von Dauermagneten für kleine Gleichstrommaschinen. ETZ-A, 83 (1962) 23, S. 776–780

EA 6100

Wir übernehmen kurzfristig die Fertigung von Transformatoren, Spulen und Übertragern bis 60 VA ab 50 Stück

PGH „Elektro—Rundfunk—Fernsehen",
PSF 36
Weißwasser, 7580

FACHTAGUNGEN

EMV '90

2. Internationale Fachmesse und Kongreß für Elektromagnetische Verträglichkeit

Vom 13. bis 15. März 1990 fanden im Karlsruher Kongreß- und Ausstellungszentrum die 2. Internationale Fachmesse EMV '90 und der Kongreß für Elektromagnetische Verträglichkeit statt. Schirmherr war der Bundesminister für Forschung und Technologie Dr. *Heinz Riesenhuber*. Der Einladung des Veranstalters, der Messe & Kongreß GmbH MESAGO, waren etwa 650 Teilnehmer gefolgt.

Die 160 Aussteller bewarben sich mit übersichtlichen Demonstrationsanlagen und Bauelementesortimenten, mit rechnergesteuerter Meßgeräte- und Simulationstechnik, sekundiert von sachkundiger Beratung und umfangreichem Katalogmaterial. Das Angebot reichte von EMV-Maßnahmen mittels Abschirmungen, auch Folien und Beschichtungen, Drosseln, Kondensatoren, Filter und Überspannungsableiter über Prüfplatzausrüstungen, wie Generatoren, Antennen, Sonden, Meßspülen, Meßgeräte und automatische Testeinrichtungen bis zum Angebot von Dienstleistungen, Software und Beratern. Die Entwicklung auf diesem Gebiet ist dadurch gekennzeichnet, daß dem Kunden komplette Systemlösungen angeboten werden, bei denen einerseits Schutzbeschaltungen in Steckverbindern für Netz- und Datenleistungen integriert sind und andererseits die Meßtechnik über genormte Schnittstellen miteinander verbunden ist.

Der gleichzeitig tagende Kongreß wurde mit zwei parallelen Tudorials, dem EMV/CAD-Workshop und zu Feldanalysemethoden für EMV-Probleme eingeleitet. Schwerpunkt des Workshops war die EMV-gerechte Gestaltung von Leiterkarten.

Die Plenarsitzung umfaßte fünf Einführungsvorträge [1]. Im Mittelpunkt standen die zu erwartenden Auswirkungen der EMV auf den EG-Binnenmarkt 1992 und die sich daraus ergebenden Schlußfolgerungen für die EMV-Normung.

An den beiden folgenden Tagen wurden mehr als 70 Vorträge, gegliedert in 12 Themengruppen, parallel in vier Tagungsräumen gehalten.

Bei der „Automatisierungs- und Fertigungstechnik" [2] werden Automatisierungssysteme in industrieller Umgebung untersucht und daraus Prüfschärfen abgeleitet. Zunehmend werden Sicherheitsüberlegungen und geräteinterne EMV bei den Lösungen berücksichtigt. Dadurch wird eine Koordinierung zwischen Hard- und Softwaremaßnahmen vorbereitet, was kostengünstige Lösungen bei der Realisierung von Redundanz und Diversität erwarten läßt.

Bei der Energietechnik [3] dominierten die Beschreibung und Bewertung von netzfrequenten Magnetfeldern und von Netzrückwirkungen. In der Nähe von Niederspannungskabeln sind bei normalen Lastunsymmetrien Feldstärken unter 1 µT zu erwarten, wobei der Feldabbau in seitlicher Richtung zum Kabel stärker als quadratisch zur Entfernung sein kann. Die Kabelverlegung im Stahlrohr von einigen Metern Länge ergibt zwar eine geringe Schirmwirkung in unmittelbarer Nähe, reduziert jedoch den Feldabbau mit wachsender Entfernung, so daß beispielsweise in 1,5 m Abstand die magnetische Feldstärke größer sein kann, als ohne Stahlrohr. Unter Berücksichtigung von Unsymmetrien und Parallelkabeln wird mit Höchstwerten von 10 µT gerechnet. Maximale Feldstärken sind bei Kabelverteilerschränken in 1 m Abstand mit 700 µT und Ortsnetzstationen in Häusern in 1 m über der Geschoßdecke mit 200 µT zu erwarten. Als Festigkeitswerte werden für elektromedizinische Geräte etwa 0,1 µT, für Tonstudios bei fester Installation etwa 25 µT, wobei die Störempfindlichkeit der Tonaufnehmer an Musikinstrumenten unter 0,5 µT liegen kann, für Bildschirmgeräte etwa 2 µT und für das Löschen von magnetischen Datenträgern etwa 4 mT genannt.

Die Vorträge in der Themengruppe Absorber/Kunststoffe [4] waren auf Störfeldstärkemessungen im Frequenzbereich von 30 bis 1000 MHz und auf die Gestaltung der dazu notwendigen Absorberhallen und Meßzellen orientiert. Aufbauend auf den koaxialen TEM-Meßzellen der American Society for Testing and Materials (ASTM) und des amerikanischen National Bureau of Standards (NBS) wird eine neue Meßzelle der Universität Karlsruhe vorgestellt. Das verwendete Meßsystem hat eine Eigenanstiegszeit von 40 ps.

Zur Prüftechnik [5] waren die Vorträge erwartungsgemäß weit gefächert. Der Versuch, das Amplitudendichtespektrum bei der Auswahl von Prüfstörgrößen zu nutzen, brachte wenig neue Erkenntnisse im Vergleich zu *Rehder*, da bei formalen Beschreibungen oft die physikalischen Vorgänge bei der Störeinkopplung und Störwirkung zu kurz kommen. Die leitungsgeführte Einkopplung sinusförmiger elektromagnetischer Felder wurde bezüglich der Prüfverfahren in den verschiedenen Frequenzbereichen und dem Stand der Normung verglichen. Als rationelles Meßverfahren zur Messung der Verträglichkeit elektronischer Geräte gegen Störeinstrahlung wurde die Strominjektion mit frequenzunabhängig 3 bis 7 mA empfohlen und am Beispiel der Untersuchung von EMV-Problemen bei elektronischen Waagen beschrieben. In Prüfsystemen für steile Stromimpulse werden Werte für die Stirndauer von 1 bis 30 µs bei Blitzströmen, von 1 bis 30 ns bei Schaltvorgängen in SF_6 bzw. Luft und von kleiner 1 ns bei Nachbildung des Funkens einer elektrostatischen Entladung (ESD) durch ein Vakuumrelais erreicht. Letztgenannte Simulation ermöglicht zwar reproduzierbare Ergebnisse, bildet jedoch die Abhängigkeit der Stirndauer von der Höhe der Ladespannung nicht nach.

Zur EMV-Umgebung, Teil 1 [6], wurden u.a. Gleichspannungs-Bordnetze verschiedener Luft- und Landfahrzeuge untersucht und für die Stirndauer Werte zwischen 10 ns und 10 µs registriert. Das von Blitzströmen abgestrahlte LEMP-Feld wird modelliert und die in unmittelbar über dem Erdboden befindlichen offenen Schleifen 10 m × 10 m sowie 10 m × 1 m horizontal und vertikal induzierten Spannungen werden für vier unterschiedliche Blitzstromverläufe berechnet. Es wird gezeigt, daß die Schleifengeometrie zu berücksichtigen ist und daß Resonanzanregungen nicht auszuschließen sind. Für die weltweit etwa 2 Millionen Funkamateure werden ausgehend von Feldstärkemessungen bis zu 100 V/m im Antennennahfeld bei einer Sendeleistung von 1 kW Empfehlungen für die Verbesserung der EMV zusammengestellt. Die Wirkung von Funksendern im Frequenzbereich von 16 kHz bis 10 GHz wird für das Nahfeld und für das Fernfeld analysiert. Am Beispiel von Zündkreisen wird die Sicherheitsentfernung von Sendeanlagen berechnet.

In der Themengruppe Analyse [7] werden überwiegend Schirmungen berechnet. Dabei werden die Hohlkugel, die mit Öffnungen versehene elektrisch ideal leitende Ebene und die Doppelleitung über einer dünnwandigen, unendlich langen, geraden metallischen Platte modelliert. Beim letztgenannten Modell wird gezeigt, daß entgegen den Erwartungen die Abschirmwirkung der Platte nach Überschreiten eines Optimums mit größer werdender Plattenbreite wieder abnimmt, vermutlich infolge der großen Stromdichte in den Plattenkanten. Da der EMV-Nachweis für die in einem System zusammengeschalteten Geräte noch nicht die EMV des gesamten Systems sichert, werden die Kabel-Kabel-Kopplungen für die Signal-Steuer- und Stromversorgungskabel berechnet und gemessen. Es werden Verlegungsabstände für die Parallelverlegung von Kabeln verschiedene Kategorien von mindestens 10 cm empfohlen, wobei die Kabel unmittelbar auf der metallischen Masse des Systems verlegt und zwei Massungspunkte der Kabelschirm 10 m entfernt sind. Am Beispiel eines Freileitungsnetzes der Energieversorgung werden die Überspannungen infolge eines elektromagnetischen Pulses (EXONEMIP) berechnet und mit Meßergebnissen unter der Stripline-Antenne der Universität Stuttgart verglichen. Trotz Nichtberücksichtigung der Streuung stimmen die Ergebnisse gut überein.

In der Themengruppe Dienstleistungen/Testhäuser [8] werden die standardisierten EMV-Normen, wie VDE, IEC, CISPR, MIL oder VG als Ausgangspunkt für die Entscheidung von Messungen im Freifeld, in der Halle oder in der TEM-Zelle und für die Festlegung der Meßausstattung genutzt. Die Leistungsfähigkeit bei den Prüfungen wird maßgeblich von der Antennenauswahl, der Verstärkerleistung und HF-Verkabelung sowie von den Programmpaketen für die automatische Messung und Auswertung bestimmt.

Bei den Schutzmaßnahmen [9] werden Schirmwirkungen und der Filtereinsatz beschrieben. Zur Untersuchung transienter elektromagnetischer Felder auf geschirmte Leiter werden Ersatzschaltbilder zur Modellierung der Übertragungscharakteristik aufgestellt. Dabei wird der Kabelmantel einseitig oder zweiseitig geerdet und nur die elektrisch kurze Leitung berücksichtigt. Für den Koaxialleiter mit Schirmgeflecht werden Näherungslösungen zur Berechnung der Kopplungsimpedanz angegeben. Steckverbinder werden durch zusätzliche Kopplungswiderstände modelliert, wodurch Auswirkungen von mechanischen und klimatischen Einflüssen abgeschätzt werden können. Untersuchungen an gebrauchten Steckverbindern zeigten das gleiche Schadensbild und ergaben Hinweise zur Verbesserung von Federkonstruktion und Oberfläche.

Außer Schirmungen werden am Beispiel der Schaltnetzteile auch der Einsatz von Netzfiltern beschrieben. Dabei wird gezeigt, daß die EMV-Arbeit beim Schaltungskonzept beginnt und die Simulation der konkreten Schaltung sowie die Layouterstellung einschließt. Bei Netzteilen mit Leistungsfaktorkorrektur sind veränderte Netzfilter notwendig. Antennenkreise und Empfängereingangsstufen werden gegen transiente LEMP-induzierte Störspannungen oder Störströme durch mehrstufige Überspannungsschutzschaltungen geschützt, wobei die Einfügungsdämpfung minimal gehalten wird. Zur Ergänzung konventioneller Störschutzfilter werden für den Einsatz im HF-Bereich bis 1000 MHz Störschutzfilter mit Tiefpaßcharakteristik auf der Basis von Mikrostreifenleitungen verwendet. Die Filterstrukturen werden auf absorbierenden Substraten realisiert.

Die Vorträge zur Meßtechnik [10] widerspiegelten die Breite dieses Themas. Die Umrechnung von Funkstör-Feldstärke-Grenzwerten auf verkürzte Meßentfernungen ermöglicht eine kostengünstigere Meßplatzgestaltung. Beispielsweise wird der Verlauf der magnetischen Störfeldstärke eines PC-Arbeitsplatzes im Bereich von 3 bis 30 m für ausgewählte Frequenzen zwischen 21 und 147 kHz gemessen und zur Prüfung der Berechnungen verwendet. Die Funkstör-Feldstärkepegel klingen etwa mit dritter Potenz von 110 auf 55 bzw. von 75 auf 30 dB (μV/m) ab. Die vorwiegend leitungsgebundene Störausbreitung auf Leiterkarten, verursacht durch Mikroprozessoren und ihre Peripherie, läßt sich bisher nur für einfache Strukturen berechnen. Als geeignetes Hilfsmittel erweist sich deshalb die rasterförmige Abtastung der im Betrieb befindlichen Leiterkarte durch Feldsensoren (Scan-Verfahren). Durch Vergleich der Feststrukturen wird die Wirksamkeit von EMV-Maßnahmen bewertbar. Die Dimensionierung geeigneter Schutzmaßnahmen gegen elektrostatische Entladungen setzt die Kenntnis der Zerstörschwelle als Funktion des Stromes, der Spannung, der Leistung, der insgesamt umgesetzten Energie und des Zerstörmechanismus voraus. Mit einem PC gesteuerten, über IEC-Bus gekoppelten Meßplatz lassen sich Testimpulse bis 20 kV mit Anstiegsflanken von 10 kV/ns erzeugen, Ströme bis 200 A bei einer Meßbandbreite von rund 100 MHz wandeln und oszilloskopisch mit einer Abtastfrequenz von 1 GHz aufzeichnen. Beim Test von über 500 Bauelementen ergaben sich Ausfälle bereits bei Gate-Source-Spannungen ab 45 V und bei im Bauelement umgesetzten Energien ab 25μJ. Um die Schirmdämpfung technischer Gehäuse bis 1 GHz mit einem vereinfachten Verfahren bestimmen zu können, werden die Meßergebnisse dieses Verfahrens mit bisher üblichen Meßmethoden (MIL und DIN) verglichen und als gut übereinstimmend eingeschätzt.

Bei der Gebäudetechnik [11] standen die Schirmwirkung und der Blitzschutz im Mittelpunkt. Für die Reduzierung magnetischer Störfelder von Energienetzen in Großbauten wird ausgehend von der Modellbildung für Leitungen und Transformatoren die Induktionsverteilung in Raumstrukturen berechnet. Der Vergleich der berechneten Werte für Varianten ohne und mit Abschirm- und Kompensationsmaßnahmen ermöglicht die Einschätzung der Wirksamkeit dieser Maßnahmen. Stahlbetonbauten erreichen bei hinreichend dichter Armierung (10 bis 20 cm) im Gebäudemittelpunkt nur theoretische Dämpfungswerte bis zu 30 dB. Ausgehend von einer Zusammenstellung der Blitzbedrohungsdaten werden durch Betrachtung des Gesamtsystems neue Schutzmaßnahmen beschrieben, die einfache und wirtschaftliche technische Lösungen auf hohem Schutzniveau ermöglichen, so daß eine Aktualisierung der VDE-Vorschriften angeraten wird. Durch ein in die IEC TC81 eingebrachtes Schutzzonenkonzept läßt sich durch koordinierte Schutzmaßnahmen auf der Grundlage von Schutzgeräten, wie Blitzstromableiter und Überspannungsableiter, auch der direkte Blitzeinschlag im Schutzkonzept berücksichtigen. Dabei wird der Grobschutz nach dem Blitzschutz-Potentialausgleich und der Feinschutz nach der Empfindlichkeit des zu schützenden Gerätes bemessen (vgl. Stufenschutz nach DIN VDE 0845).

Bei der Kraftfahrzeugtechnik [12] sind die EMV-Prüftechnik und die EMV-Normung von besonderem Interesse. Für serielle Bussysteme in Fahrzeugen wird für die Bit-Übertragung der NRZ-Code aufgrund seines günstigen Störemissionsverhaltens empfohlen.

Die EMV-Umgebung, Teil II [13], beinhaltet die Analyse von Störquellen, wie gasisolierte Schaltanlagen (GIS) und 380-kV-Freiluft-Schaltanlagen, sowie von Störsenken, wie implantierte Herzschrittmacher. Bei der GIS wird besonders der Ausgleichsvorgang im ns-Bereich beim Schließen eines Trennschalters analysiert. In der Umgebung eines 380-/110-kV-Umspannwerkes wurden die 50-Hz-Feldstärken E und H sowie die hochfrequenten elektrischen Felder in den Frequenzbereichen 150 kHz bis 30 MHz und 30 MHz bis 1 GHz gemessen. Beispielsweise wurde in 35 m Entfernung vom Mast in 1 m Höhe die maximale 50-Hz-Feldstärke unter der Freileitung von 170 V/m registriert. Diese viersystemige Freileitung führt unter den beiden 380-kV-Systemen noch zwei 110-kV-Systeme, wodurch eine Schirmwirkung erreicht wird. Werte unter 10 V/m wurden in 350 m Abstand von der Leitung gemessen. Höchstwerte der Induktion wurden bei einpoligem Kurzschlußstrom von 26,5 kA (380 kV) in Leitungsnähe mit etwa 100 μT berechnet, wobei in 1000 m Entfernung noch Werte um 3 μT erreicht werden. Wesentlich rascher klingen die Werte bei 3poligem Kurzschlußstrom von 37 kA ab. Bei 40 μT in Leitungsnähe betragen die Werte in 1000 m Entfernung nur noch 0,1 μT. Bei Betriebsströmen von 300 A wurden bereits in 100 m Entfernung Werte kleiner 0,1 μT gemessen. Die HF-Feldstärken lagen unter den Werten der stärksten MW- bzw. UHF-Fernsehsender und wurden während der Trennerschaltungen für maximal zwei Sekunden registriert. Für die Einschätzung der EMV elektronischer Geräte haben diese schmalbandigen Messungen nur untergeordnete Bedeutung.

In nahezu allen Beiträgen wird Bezug genommen auf internationale Normen und auf internationales Schrifttum. Der Kongreß und die Messe EMV '90 haben nicht nur wichtige Impulse für die Erhöhung von Sicherheit und Zuverlässigkeit elektronischer Systeme vermittelt, sondern müssen auch als Beitrag zur Vereinigung des europäischen Marktes gewertet werden.

[1] **Plenarsitzung**

Bernhardt, J. H.: Hochfrequenzstrahlung: Mechanismen der Wechselwirkung; Biologische Wirkungen und Risikobewertung

Landt, K.[1]*):* Stand und zu erwartende Auswirkungen der EMV auf den EG-Binnenmarkt 1992

Chun, E. A.: EMV-Normung in der Automatisierungstechnik

Maier, H.: EMV-Normung für Einrichtungen der Informationsverarbeitungs- und Telekommunikationstechnik (ITE), Stand der Normung und Ausblicke auf den EG Binnenmarkt 1992

John, W.: Leiterplattenentwurf unter EMV-Gesichtspunkten

[2] **Automatisierungs-/Fertigungstechnik**

Chun, E. A.: Automatisierungssysteme in der industriellen elektromagnetischen Umgebung

Pelz, L.[1]*):* Prüfschärfen von Automatisierungssystemen in der chemischen Industrie

Wratil, P.: Sicherheitsarchitekturen von SPS

Habiger, E.: Zur Quantifizierung der EMV-Eigenschaften

Deserno, B.: Geräteinterne EMV in der Automatisierungstechnik

[3] **Energietechnik**

Hadrian, W.: Magnetfeld eines Niederspannungsnetzkabels

Graf, D.: Die Beeinflussung von elektrischen Geräten durch 50-Hz-Magnetfelder von Energieverteilungsanlagen

Dorow, A.: Minimierung von Netzrückwirkungen innerhalb industrieller Stromversorgungen durch Netzanalyse

Flöter, W.: Leistungselektronische Einrichtungen und elektromagnetische Verträglichkeit

Dittrich, I.: Störung des Studiobetriebs durch Stromrichterantrieb, ein Konfliktfall auch für Normen

Hilger, T.: Überspannungsfestigkeitsprüfung nach DIN VDE 0160

[4] **Absorber/Kunststoffe**

Garn, H.: Störfeldstärkemessungen in Absorberhallen

Benz, T.: Messungen der Schirmdämpfung leitfähiger Kunststoffe – eine neue TEM-Meßzelle

Kruse, K.-D.: Meßverfahren zur Bestimmung der Schirmwirkung elektrisch leitfähiger Kunststoffe

Altmaier, H.: Messungen komplexer Materialkonstanten von Absorbermaterialien mit einem automatischen Netzwerkanalysator

Lebherz, M.: Meßtechnik zur Spezifikation von Adsorbern

Garbe, H.[1]*):* Bedeutung der Absorber in der EMV-Technik

[5] **Prüftechnik**

Walker, O.: Beurteilung des Störvermögens impulsförmiger Störgrößen mit Hilfe des Amplitudendichtespektrums

Balzer, G.: Simulation von sinusförmigen elektromagnetischen Feldern durch leistungsgeführte Einkopplung (Stand der Normung)

Glimm, J.: Rationelle Meßverfahren zur Messung der Verträglichkeit elektronischer Geräte gegen Störeinstrahlung

Gockenbach, E.: Prüfsysteme für steile Stromimpulse

Binder, C.: ESD-Strommessungen

[6] **EMV-Umgebung, Teil I**

Müller, A.: Messung von impulsförmigen Störspannungen in Gleichspannungs-Bordnetzen

Heidler, F.: Das elektromagnetische Feld von Blitzentladungen und seine Einkopplung im räumlich ausgedehnte Strukturen

Brandt, H.-J.: EMV-Probleme im Nahfeld von Amateurfunkstellen

Anke, D.; Dahme, M.: HF-Umgebung

[7] **Analyse**

Klinkenbusch, L.: Die Hohlkugel mit elliptischer Apertur als Modell für eine metallische Abschirmung: Sphärische Multipolanalyse der Strahlungswechselwirkung zwischen Innen- und Außenraum

John, W.: Berechnung des Einflusses von Gehäuseschlitzen auf die durch elektronische Systemkomponenten hervorgerufenen Störfeldstärken

Ehrich, M.: Abschirmung von Datenleitungen durch leitende Schirme

Leininger, M.: Berechnung der elektrischen Eigenschaften von inhomogenen Leitungen

Schmidt, V.: Resonanzen in der Kabel-Kabel-Kopplung

Schärli, U.: Einkopplung transienter elektromagnetischer Felder auf Leitungen

[1]) Lagen zum Zeitpunkt des Druckes noch nicht vor

[8] **Dienstleistungen/Testhäuser**
Göpel, K.-D.: Moderne Testhäuser und Meßeinrichtungen
Schaller, R.: Planung schlüsselfertiger EMV-Meß- und Prüfzentren für die 90er Jahre
Hansen, E.: Eine neuartige EMC-Testkammer basierend auf dem hybriden TEM-Zellen-Absorberhallen-Konzept.
Richter, K.: Ergebnis einer interdisziplinären Zusammenarbeit: der Kombinationsschutzraum
Möller, E.; Platt, K. E.: Ein EMV-Testzentrum (10 kHz bis 100 GHz) mit gegliederter Nutzung einer Halle und 6 peripherer Räume
Schwab, A.: EMV-Labor für Forschung, Ausbildung und Dienstleistung
[9] **Schutzmaßnahmen**
Wittler, M.: Wirkung transienter elektromagnetischer Felder auf geschirmte Leiteranordnungen
Keßler, G.: Veränderung der Schirmwirkung von Steckverbindern durch mechanische und klimatische Belastungen
Holst, D.: Neue EMV-Aspekte bei Schaltnetzteilen
Barbisch, B.: Reduzierte Störspannungen und verbesserter Leistungsfaktor in Stromversorgungen
ter Haseborg, J. L.: EMV-Schutzkonzept für Empfängereingangsstufen im Frequenzbereich von 10 kHz bis 500 MHz
Altmaier, H.: Anwendung von Mikrostreifenleitungen als verteilte Filterelemente für Störschutzfilter im Frequenzbereich von 10 bis 100 MHz
Hansen, E.: Schirmung von Infrarot-Detektoren mittels metallischer Filterschichten
[10] **Meßtechnik**
Kohling, A.: Umrechnung der Funkstör-Feldstärke-Grenzwerte für 30 m Meßentfernung auf 3 m bzw. 10 m im Frequenzbereich unter 30 MHz
Schwarzbeck, G.: Erzeugung und Messung magnetischer Felder im HF-Bereich 9 kHz bis 30 MHz
Fauser, E.: Das Scan-Verfahren, eine analytische Methode zur Beurteilung der Störausbreitung auf Leiterplatten
Kähny, D.: Vollpolarimetrischer Meßplatz für räumliche aufgelöste Emissionsmessung
Kortstock, M.: Meßverfahren zur Ermittlung der Strom- und Spannungsverläufe an elektrischen Bauelementen bei der Beaufschlagung mit sehr schnellen Impulsen
Heins, T.: Schirmdämpfungsmessungen an Häusern von 100 MHz bis 1 GHz
Werner, H.: Erfahrungen und Möglichkeiten bei der rechnergesteuerten Störfestigkeitsprüfung
[11] **Gebäudetechnik**
Möller, E.: Radar-reflexionsarme Oberflächen von Bauwerken zur Vermeidung von Fehlortungen durch Reflexionsziele
Ehrich, M.: Reduzierung magnetischer Störfelder von Energienetzen in Großbauten
Müller, K.: Vergleichende numerische Analyse der elektromagnetischen Schirmwirkung von Gebäuden aus Stahlbeton
Schaller, R.: Neue Schirmungsbauteile für die elektromagnetische Abschirmung von Räumen und Gebäuden „abgeschirmte Fenster"
Nedtwig, J.: Ist Blitzschutz eine System- oder Gerätefrage?
Haase, P.: Schutzzonenkonzept — auch bei direkten Blitzeinschlägen
[12] Kraftfahrzeuge
Birnbaum, U.: Entwicklung der EMV-Prüftechnik und Normung für Kraftfahrzeuge
Köhler, W.: Impulsgeneratoren zur Nachbildung transienter elektrischer Störgrößen in KFZ-Bordnetzen
Kronenberg, H.: Einkopplung von Störimpulsen auf Kraftfahrzeug-Sensorleitungen mit Hilfe einer Koppelzange
Pfaff, W.: Einfluß von Antennentyp und Hallengeometrie auf die Feldstärkeverteilung in Absorberhallen
Gumtau, H. D.: Prüfung der Störfestigkeit von Kraftfahrzeugen in Absorberhallen
Sperling, D.: Zur RGW-Standardisierung bei leitungsgeführten Störungen auf Stromversorgungsleitungen von Kraftfahrzeugen
Hoppert, T.: Funkenstörung durch Wobbeln von Oszillatoren
Feurer, K.: Elektromagnetische Verträglichkeit von Datenbussystemen in Fahrzeugen
[13] **EMV-Umgebung, Teil II**
Doege, R.: EMV-Analyse in gasisolierten Schaltanlagen (GIS)
Heidenreich, K.: Feldstärkewerte in der Umgebung eines 380/110-kV-Abspannwerkes
Albornoz, A.: Messung und Analyse leitungsgebundener, elektromagnetischer Störungen auf einem Steinkohlebergwerk
Lampadius, M. S.[1]*:* Störbeeinflussung implantierter Herzschrittmacher
Sturm, R.: Die elektromagnetischen Eigenschaften von armierten und geschirmten Gebäuden unter Einschluß der Elektroinstallation

H. Bauer, Dresden EK 4196

KURZBERICHTE

Elektrotechnische Normung in der BRD

Mit einer schrittweisen Annäherung der Volkswirtschaft der DDR an die Wirtschaft der BRD und des Europäischen Marktes wird in kurzer Zeit auch die erneute Angleichung der Vorschriften beider Staaten vorgenommen werden müssen. Deshalb ist es wichtig, sich mit den Normen der BRD (DIN-VDE) und deren verantwortlichen Institutionen, dem VDE und DIN, vertraut zu machen, um eine möglichst reibungsfreie Angleichung zu erreichen.

Der Verband Deutscher Elektrotechniker (VDE) wurde im Jahre 1893 in Berlin gegründet und ist jetzt ein technisch-wissenschaftlicher Verein in der BRD. Er ist ein gemeinnütziger Verein und hat in 26 Bezirksvereinen mit 50 Zweigstellen etwa 31000 Elektrotechniker und Studierende der Elektrotechnik als persönliche Mitglieder, davon etwa 300 im Ausland. Als kooperative Mitglieder gehören ihm alle bedeutenden Unternehmen der Elektroindustrie, der Elektrizitätswirtschaft und zahlreiche Behörden der BRD mit einschlägigen Arbeitsgebieten an. Zu den Aufgaben des VDE gehört u.a. auch die fachliche Betreuung seiner Mitglieder in fünf nachfolgend genannten wissenschaftlichen Fachgesellschaften der VDE:

- Informationstechnische Gesellschaft (ITG); ehemals als Nachrichtentechnische Gesellschaft (NTG) genannt
- Energietechnische Gesellschaft (ETG)
- VDE/VDI-Gesellschaft Mikroelektronik (GME)
- VDE/VDI-Gesellschaft Meß- und Automatisierungstechnik (GMA)
- VDE/VDI-Gesellschaft Feinwerktechnik (FWT).

Der VDE ist Herausgeber des VDE-Vorschriftenwerks, das die Deutsche Elektrotechnische Kommission im DIN und VDE (DKE) erarbeitet. Die DKE wird vom VDE getragen und ist ein Organ des Deut-

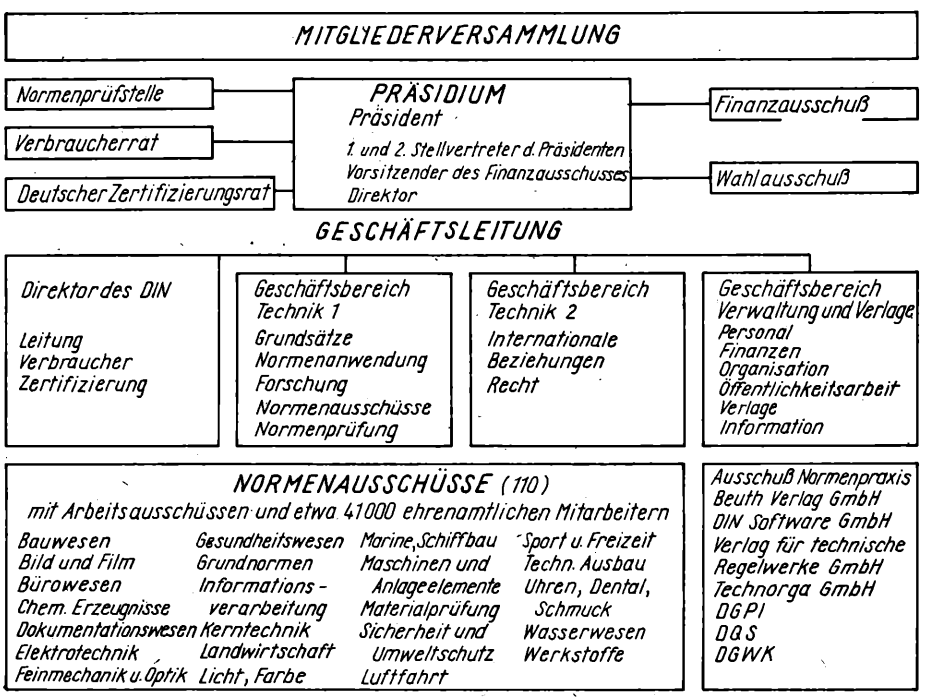
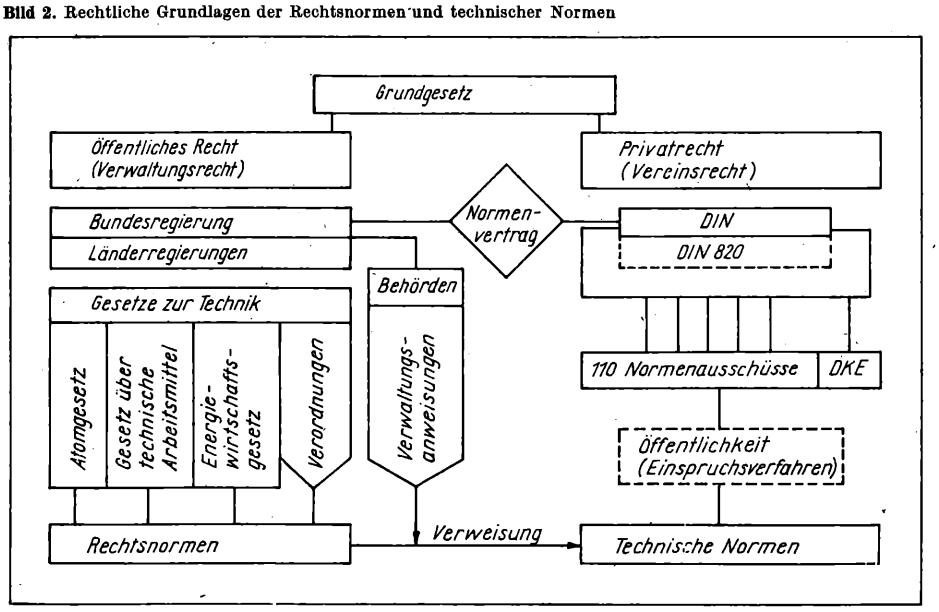


Bild 1. Organisation des Deutschen Instituts für Normung E.V.

Bild 2. Rechtliche Grundlagen der Rechtsnormen und technischer Normen



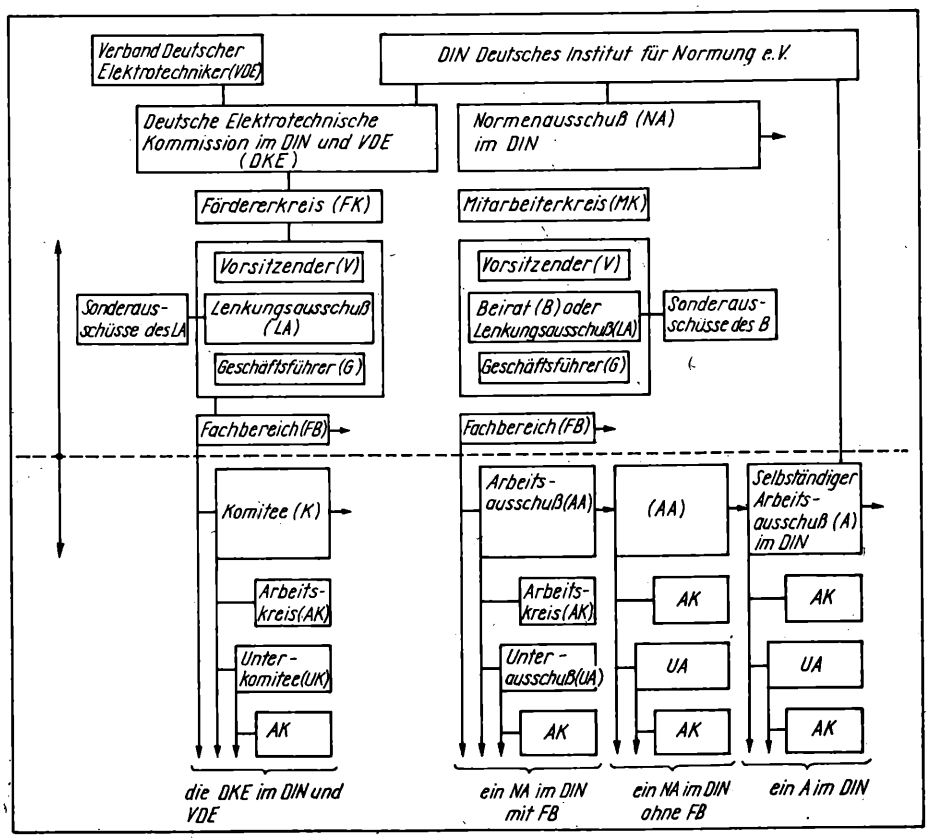


Bild 3. Struktur der Normenausschüsse im DIN

schen Instituts für Normung (DIN) und des VDE.

VDE-Bestimmungen und Leitlinien sind DIN-Normen und damit Bestandteil des Normenwerkes der BRD.

Elektrotechnische Bauteile, Geräte und Einrichtungen können, wenn sie diesen Bestimmungen entsprechen, bei entsprechender Antragsstellung bei der VDE-Prüfstelle ein VDE-Prüfzeichen erhalten.

Das VDE-Vorschriftenwerk besteht z.Z. (1989) aus 1185 Schlußfassungen von Normen und etwa 900 Entwürfen. VDE/DIN betreut alle IEC-, CEE- und IECE-Publikationen sowie eine Auswahl von englischen, französischen und spanischen Übersetzungen [1] [2]. Seit 1986 ist der VDE mit 50% am VDI/VDE-Technologiezentrum Informationstechnik GmbH beteiligt, das im Jahr 1978 vom Verein Deutscher Ingenieure (VDI) gegründet wurde. Als Träger von Förderprogrammen des Ministeriums für Forschung und Technologie (BMFT) der BRD unterstützt das obengenannte Technologiezentrum mit 110 Mitarbeitern das Unternehmen bei der Anwendung und Umsetzung von Ergebnissen der Grundlagenforschung.

Tafel 1. Zusammenstellung einiger wichtiger ST RGW (TGL) mit vergleichbaren Normen der IEC oder EN

ST RGW (TGL) Nr.	Titel/Inhalt	Vergleichbare Norm der IEC, EN
3230-81 (200-0602; 30060)	Elektrotechnische Anlagen von Gebäuden; Schutzmaßnahmen	IEC 364.4
634 u. 4104 (43008)	Leistungstransformatoren; Stufenschalter	IEC 14 B (Co) 17
1102 u. 1070–78 (43008)	Leistungstransformatoren; Allgemeine technische Bedingungen	IEC 76-1
158-75 (RGW 158)	ESKD RGW; Schaltpläne der Elektrotechnik; Allgemeine Forderungen	IEC 113
1188-78 (RGW 1188)	Grundlagen für Schaltpläne der Elektrotechnik; Allgemeine Forderungen	IEC 113
778-77 (RGW 778)	Schutzgrade, die durch Gehäuse gewährleistet werden	IEC 529
2776 (16441/16)	Synthetische Prüfungen von Ws-Hs-Leistungsschalter	IEC 427
2733 (39758)	Stromwandler, Technische Forderungen, Prüfungen	IEC 185
2734 (39759)	Spannungswandler, Technische Forderungen, Prüfungen	IEC 186
2587 u. 2788 (200-1733 u. 200-1703)	Medizinische elektrische Geräte; Besondere Festlegungen zur Sicherheit	IEC 601-2
2584 (39319)	Medizinische Radiologie; Terminologie	IEC 788
1453 (39211)	Medizinische elektrische Geräte; Implantierbarer Herzschrittmacher	EN 50061
5018 (43008)	Methoden zur Prüfung der elektrischen Isolationsfestigkeit mit Blitzspannung	IEC 76-3
RS 2279-69 (42576)	Metallgekapselte Wechselspannungsschaltanlagen über 1 kV bis 72,5 kV	IEC 50, 56-2, 129, 137
2726 (200-0606)	Grundlagen der Auswahl nach den Bedingungen der elektrodynamischen und thermischen Kurzschlußstromfestigkeit	IEC 73

Den Organisationsaufbau des DIN zeigt Bild 1. Das Unternehmen beschäftigt derzeit 749 Mitarbeiter in den Bereichen Technik, Wirtschaft und Gesellschaft. Der veröffentlichte kostendeckende Haushalt [3] betrug im Jahre 1989 87 Millionen DM und wurde zu 63% durch Verkaufserlöse von Vorschriften, Büchern u.a., mit 19% durch Mitgliedsbeiträge und Förderung, durch die Wirtschaft sowie mit 18% durch Zuwendung des Staates bestritten. Der Auftrag des DIN basiert auf dem Normenvertrag von 1975 mit der BRD-Regierung. Dieser enthält folgende Grundsätze:

— Die Anerkennung des DIN als zuständige Normenorganisation für die BRD und Westberlin sowohl für nationale und internationale Normen.

— Die Verpflichtung des DIN, bei seinen Normenarbeiten das öffentliche Interesse zu berücksichtigen.

— Die Gewährleistung, daß DIN allen auch schwächeren Partnern angemessene Mitwirkungsrechte bei der Normung garantiert.

Die rechtlichen Beziehungen und Grundlagen bei der Schaffung von Normen sind aus dem Bild 2 zu ersehen. Die fachlichen Arbeiten werden im Zusammenwirken zwischen dem DKE und den Normenausschüssen (NA), siehe Bild 3, und nach dem aus Bild 4 ersichtlichen Ablauf realisiert. Beim DKE werden die technischen Normen und Sicherheitsbestimmungen ausgearbeitet, die für die Sicherheit des Menschen bei der Anwendung von Elektrizität gelten sollen [1]. Die DKE ist ferner in die Lösung von Umwelt-Schutzproblemen und für Verbraucherfragen sowie bei der Erstellung von kerntechnischen Sicherheitsregeln einbezogen. Sie vertritt darüber hinaus die Interessen der BRD in den folgenden internationalen Normenorganisationen der Elektrotechnik:

— IEC; Internationale Elektrotechnische Kommission, mit dem Sitz in Genf, und den ihr zugeordneten Gremien
  - IECEE; IEC-System für Konformitätsprüfungen nach den Sicherheitsnormen für elektrotechnische Erzeugnisse,
  - IECQ; IEC-Gütebestätigungssystem für Bauelemente der Elektronik
  - CISPR; Internationaler Sonderausschuß für Funkstörungen.

— CENELEC; Europäisches Komitee für elektrotechnische Normung, mit Sitz in Brüssel, und dem ihm zugeordneten Gremium
  - CECC; CENELEC-Komitee für Bauelemente der Elektronik, Frankfurt am Main.

Die DKE ist ebenfalls die verantwortliche Stelle der BRD für die Harmonisierung der elektrotechnischen Normen mit den Ländern der Europäischen Gemeinschaft und

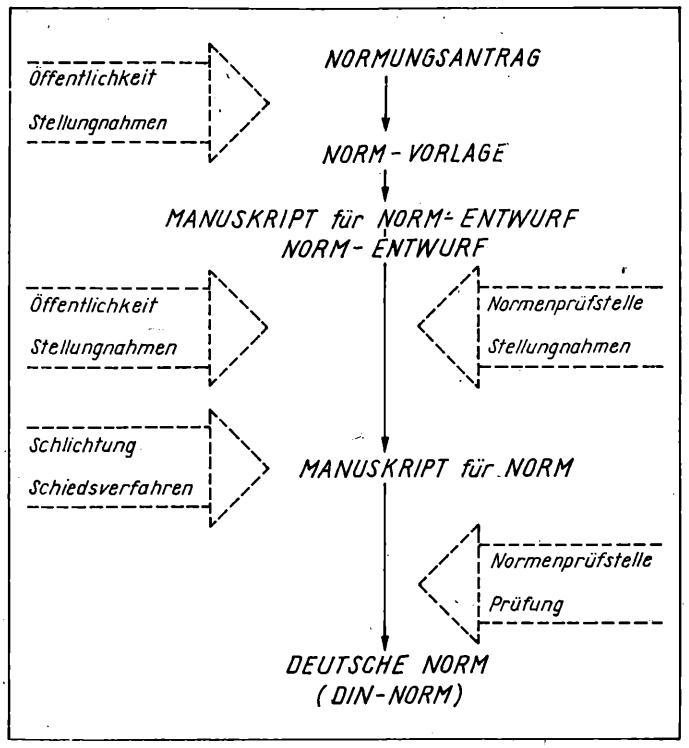


Bild 4. Entstehung einer DIN-Norm

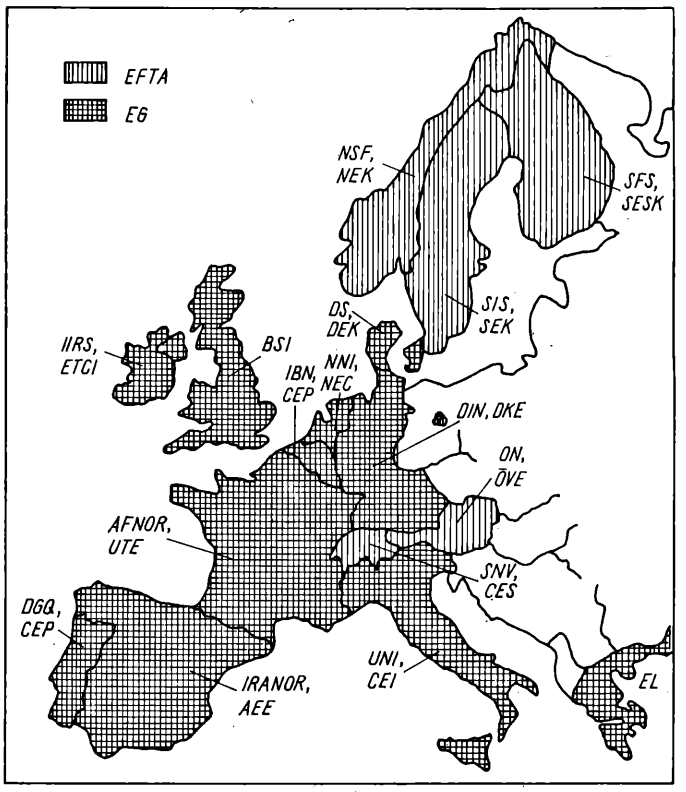


Bild 5. Mitglieder von CEN und CENELEC

Tafel 2. Zusammenstellung gültiger Teile der Normen DIN VDS 0100 mit dem vergleichenbaren Standards der DDR

Teile der DIN VDE 0100	Titel/Inhalt	vergleichbarer Standard der DDR-TGL
100/5.82	Anwendungsbereich; Allgemeine Anforderungen	200-0601/01 bis 05
200/7.85	Allgemeine Begriffe; Definitionen	200-0601/01 bis 05
300/11.85	Allgemeine Angaben zur Planung	200-0601/01 bis 05
410/11.83	Schutzmaßnahmen gegen gefährliche Körperströme	200-0602/01 bis /03
420/11.84	Schutzmaßnahmen gegen thermische Einflüsse	z. B. 200-0606
430/6.81	Schutz von Kabel und Leitungen gegen Erwärmung	200-0612; 200-0613
460/10.88	Schutzmaßnahmen; Trennen und Schalten	200-1624
	Auswahl und Errichtung elektrischer Betriebsmittel	
510/6.87	Allgemeines	200-0611/01bis /03
520/11.85	Kabel, Leitungen und Stromschienen	200-0611/01 bis /03
537/10.88	Geräte zum Trennen und Schalten	200-0611/01 bis /03 u. 200-1624
540/5.86	Erdung, Schutzleiter, Potentialausgleichsleiter	200-0602/03
550/4.88	Steckvorrichtungen, Schalter, Installationsgeräte	z. B. 19471
559/3.83	Leuchten und Beleuchtungsanlagen	z. B. 200-0617
560/11.84	Anlagen für Sicherheitszwecke	—
600/11.87	Prüfungen; Erstprüfungen	200-0618; z. B. 20445
	Bestimung für Betriebsstätten, Räume und Anlagen besonderer Art	Nur teilweise in
701 bis 703/11.82	Baderäume, Schwimmhallen, Saunas	200-0602; 9552/06
704/11.87	Baustellen	200-0643
705/11.84	Landwirtschaftliche Betriebsstätten	200-0629
720/3.83	Feuergefährdete Betriebsstätten	200-0625
721 bis 722/5.84	Caravanz, fliegende Bauten, Wagen	200-0630
726/3.83	Hebezeuge	200-0633
728/4.84	Ersatzstromversorgungsanlagen	200-0636
729/11.86	Aufstellen und Anschließen von Schaltanlagen	200-0601
730/2.86	Verlegen von Leitungen in brennbaren Bauten	200-0630
731/2.86	Elektrische Betriebsstätten (auch abgeschlossene)	200-0601; 200-0619
732/3.83	Hauseinführungen	190-240
736/11.83	NS-Stromkreise in HS Schaltfelder	z. B. 190-228; 26469
737/4.88	Feuchte- und nasse Räume, Anlagen im Freien	z. B. 200-0601; 200-0800

der EFTA. Siehe auch Bild 4 und die Beschreibung nach [4]. Die Ergebnisse werden herausgegeben als:

- DIN-Normen
- DIN-EN-Normen (Europäische Normen) [4],
- DIN-IEC-Normen (Weltweite Normen)
- VDE-Bestimmungen (DIN-VDE-Normen)
- DIN-Normen aus dem CECC- und dem IECQ-System für gütebestätigte Bauelemente der Elektronik
- DIN- und DIN-VDE-Vornormen.

Im Bereich der Elektro- und Automatisierungstechnik müssen die Standards der DDR ebenfalls an die obengenannten Normen der BRD und EG schrittweise angeglichen werden.

Für die standardverantwortlichen Betriebe sollten daher als erste Arbeitsschritte zur Harmonisierung der Vorschriften sein, daß, unter Mitwirkung des ASMW, Analysen zur Standardisierung mit der Feststellung und dem technischen Vergleich vergleichbarer Dokumente hergestellt werden. Hierzu siehe als Beispiele Tafel 1 und Tafel 2. DDR-Erzeugnisse müssen nach erfolgter Anpassung möglichst rasch, jedoch spätestens bis zur Einführung des gemeinsamen EG-Marktes im Jahre 1992, nach den schon vorher in der BRD vorhandenen EG-Normen gefertigt werden, um ihre Konkurrenzfähigkeit zu verbessern.

Literatur

[1] VDE-Vorschriftenwerk Katalog der Normen; VDE-Verlag GmbH. Berlin-West/Offenbach. Ausgabe jedes Jahr

[2] Verlagsverzeichnis; VDE-Verlag GmbH. Berlin-West/Offenbach. Ausgabe jedes Jahr

[3] Öffentlicher DIN-Geschäftsbericht 1988/89. Herausgeber DIN. Berlin-West. Ausgabe 30. 4. 1989

[4] *Kloust, H.:* Elektrotechnische Normenorganisationen der EG und der USA. msr, Berlin 29 (1986) 11. S. 516

H. Kloust, Berlin EK 4167

Ing. Ing. *Heinz Kloust*, FG-Leiter der Standardisierung im Kombinat Automatisierungsanlagenbau, Berlin

Kupplung asynchroner Hochspannungsnetze mittels Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragung (HGÜ)

Im 300. Elektrotechnischen Kolloquium der Sektion Elektrotechnik der Technischen Universität Dresden referierte am 29. November 1989 Dr.-Ing. *F. Berger*, Direktor für Technik im Kombinat Verbundnetze Energie, über die im Rahmen der Elektroenergieübertragung BRD — DDR — Berlin (West) zu errichtende Hochspannungs-Gleichstrom-Kupplung (HGK) Wolmirstedt und die damit verbundene wissenschaftlich-technische Arbeit.

Die HGÜ ist eine weltweit eingeführte, bewährte Übertragungstechnik, die technisch und wirtschaftlich sinnvoll die Drehstromübertragung ergänzt. Die Gesamtleistung der HGÜ-Anlagen betrug 1954 30 MW und wird sich auf ca. 50000 MW im Jahre 2000 erhöhen.

Die Erhöhung der Zuverlässigkeit der HGÜ, die Reduzierung der Verluste und Betriebskosten, zunehmende Einfachheit, gute Betriebserfahrungen und nicht zuletzt die positive Beeinflussung des Betriebsverhaltens der Drehstromnetze durch die HGÜ führten zu einer erhöhten technischen und

wirtschaftlichen Akzeptanz dieser Technik. Durch den geplanten Bau weiterer HGÜ-Kurzkupplungen in Mitteleuropa zur Kopplung des west- und osteuropäischen Verbundsystems rückt diese Technik auch immer mehr in den Blickpunkt einer breiten Öffentlichkeit.

Am Beispiel einer Kurzkupplung wurden der Aufbau und die Wirkungsweise der HGÜ sowie die Entwicklung ihrer Hauptkomponenten erläutert. Diese Entwicklung stellt sich heute wie folgt dar:

- Abschluß der Entwicklung des Leistungsthyristors (Sperrspannung 8 kV Strom 4 kA) und perspektivischer Einsatz von GTO-Thyristoren (gesteuert ein- und ausschaltbar) bzw. direkt lichtgezündeter Thyristoren mit integrierter Schutzfunktion
- Reduzierung der Thyristoranzahl auf ca. 2 (Kurzkupplung) bis 4 (Fernübertragung) Thyristoren pro MW Übertragungsleistung
- Einsatz von Hochpaß- und Doppelhochpaßfiltern und
- Einsatz digitaler, frei programmierbarer Leittechniksysteme.

Ausführlich wurde über die Elektroenergieübertragung und die HGK Wolmirstedt referiert. Diese wird bei ihrer Inbetriebnahme im Winter 1991/1992 mit einer Nennleistung von 600 MW die zweite Kuppelstelle des west- und osteuropäischen Verbundsysteme sein. Die netztechnische Einbindung erfolgt in die 380-kV-Doppelleitung BRD — Berlin (West) und an das 220-kV-DDR-Verbundnetz.

Mit der HGK entsteht im Westraum der DDR ein Leistungseinspeisepunkt in das Verbundnetz, der die Spannungshaltung verbessert und die Netzverluste senkt. Die Versorgungszuverlässigkeit in der Elektroenergieversorgung wird weiter erhöht und das Betriebsverhalten der Drehstromnetze verbessert.

In einer breiten Diskussion wurden die Auslegungsgrundsätze, netztechnische Fragen, das Betriebs- und Regelungsverhalten der HGK und deren Modellierung für Netzuntersuchungen angesprochen. Von Interesse waren ebenfalls die technischen Grundsätze des Energietransits BRD — Berlin (West).

H. Pundt, Dresden EK 4148

6. Internationales Symposium Hochspannungstechnik (ISH) vom 28. 8. bis 1. 9. 1989 in New Orleans (USA)

Erstmalig fand diese bedeutende Veranstaltung der Hochspannungstechnik außerhalb Europas statt. Gastgeber war die Mississippi State University. Insgesamt wurden 438 Beiträge eingereicht und etwa 400 Teilnehmer registriert. Die Übersicht über Teilnehmer und Beiträge (Tafel 1) zeigt deutlich die Konzentration auf wenige Länder, in denen die Schwerpunkte der hochspannungstechnischen Forschung, die hochspannungstechnische Industrie und leistungsstarke Energieversorgungsunternehmen als die Hauptinteressentengruppen am ISH liegen. Unterrepräsentativ waren zweifellos die UdSSR und weitere RGW-Länder (einschließlich DDR).

Tafel 1. Teilnehmer am 6. Internationalen Symposium ISH '89

Land	Zahl der Teilnehmer/Beiträge
USA	110/ 51
BRD	58/ 62
Japan	46/ 44
Kanada	25/ 20
Italien	21/ 25
Großbritannien	19/ 22
Schweiz	17/ 2
Südafrika	12/ 14
Frankreich	12/ 13
Brasilien	8/ 13
Schweden	7/ 3
Norwegen	6/ 4
Australien	5/ 6
Dänemark	5/ 5
Indien	4/ 19
Polen	4/ 13
DDR	4/ 6
Niederlande	4/ 5
Österreich	4/ 5
Indonesien	4/ 1
weitere 10 Länder mit weniger als 4 Teilnehmern darunter die VR China mit 50 Beiträgen (!) und die UdSSR mit 11 Beiträgen	19/106

Die 4 DDR-Teilnehmer konzentrierten sich auf das Gebiet der Hochspannungstechnik bzw. das SC 33 der CIGRE. Insgesamt beteiligten sich die DDR-Teilnehmer mit 5 Beiträgen und einem Einführungsvortrag sowie einem Ausstellungsstand des Transformatoren- und Röntgenwerk „Hermann Matern" zur Hochspannungstechnik einschließlich ausgewählter Diagnosetechnik des Robotron Meßelektronik „Otto Schön" Dresden.

Die DDR-Teilnahme war darüber hinaus bedeutungsvoll, da das nächste Symposium in der DDR stattfindet (7. ISH vom 26. bis 31. 8. 1991 in Dresden, Gastgeber Technische Universität Dresden).

In einer Beratung des ISH-Steeringkomitees wurden die Vorschläge des Nationalen Vorbereitungskomitees der DDR zum inhaltlichen und organisatorischen Ablauf bestätigt. Gleichzeitig wurde entschieden, das übernächste Symposium (1993) nach Japan zu vergeben.

Etwa 230 Beiträge wurden in Plenarveranstaltungen vorgestellt, wobei ihre Zuordnung zu den einzelnen Gruppen nicht immer gelungen war. Eine zusammenfassende Darstellung ist deshalb kaum möglich zumal (leider!) die Diskussion eine solche Übersicht auch nicht förderte. Sehr bewährt haben sich die Postersessions in der etwa 15 Beiträge intensiv mit den Autoren diskutiert werden konnten. Die wesentlichsten Erkenntnisse sind in den gedruckt vorliegenden Beiträgen enthalten (im TuR und an der TU Dresden vorliegend). Um die Auswertung zu erleichtern, wurden die Beiträge neu geordnet- und bestimmten Schwerpunkten zugeordnet. Dabei sind die angegebenen vierstelligen Zahlen die Originalnummerierungen der Beiträge (Tafel 2).

Tafel 2: Neugliederung der Beiträge des ISM '89

1. Feldmessung und Berechnung

1.1. Feldmessungen
20,07, 40.01, 40.02, 40,04, 40.06, 40.07, 40.09, 42.03, 42.20, 42.30, 44.04, 44.07, 44.08, 44.09, 50.09, 50.10

1.2. Berechnung elektrischer Felder
- Ladungsverfahren 24.01, 42.14
- Finit-Elemente Verfahren 24.08
- kombinierte Verfahren 40.05
- sonstige spezielle Verfahren 14.03, 14.04, 24.04, 42.02, 42.07, 42.12, 42.15
- numerische Probleme, Programmpakete 24.03, 24.10, 40.10
- Berechnung transienter Vorgänge 24.06, 24.07
- Optimierung von Anordnungen 24.02, 40.03, 42.16

1.3. Berechnung magnetischer Felder 24.05

2. Feste und flüssige Isolierstoffe und Isolierungen

2.1. feste Isolierstoffe
12.01, 13.05, 13.11, 13.18, 13.22, 13.26, 13.27, 13.29, 21.04, 21.05, 21.06, 21.07, 21.09, 21.10, 22.19, 33.01

2.2. Kabelisolierungen
12.08, 13.06, 13.20, 13.21, 13.24, 13.25, 13.28, 22.04 27.24, 27.26, 27.27, 27.28, 27.29, 27.30, 27.31, 27.32 27.33, 27.34, 27.36, 45.02, 45.04, 45.10, 47.05

2.3. Maschinenisolierungen
11.08, 21.02, 22.06, 25.09, 31.06, 31.07, 31.08, 31.09 43.04, 43.07, 45.06

2.4. flüssige Isolierstoffe, flüssigkeitsimprägnierte Isolierungen
11.06, 11.07, 13.07, 13.08, 13.09, 13.10, 13.20, 13.13 13.14, 13.15, 13.16, 13.17, 13.19, 13.23. 21.08, 25.08

2.5. Gasimprägnierte Isolierungen 13.31, 21.01, 27.35

3. Gasförmige Isolierstoffe und Isolierungen, Vakuum

3.1. Einflußfaktoren auf den Durchschlagmechanismus in SF_6
- Spannungsform (einschl. VFT) 23.09, 32.01, 32.02, 32.15, 32.16, 32.23, 49.06, 49.08
- Partikel 32.06, 32.10, 32.14, 32.22, 32.26
- Feuchte, Zersetzungsprodukte 23.08, 32.09, 49.02, 49.07
- Elektrodeneffekt 23.04, 23.06, 32.09
- Gastemperatur, flüssiges SF_6 32.13, 32.19

3.2. Gasisolierte Schaltanlagen
- Betriebserfahrungen 32.05, 32.17, 32.25
- Entstehung und Ausbreitung von VFT, Messung 23.10, 32.21, 49.01, 49.04, 49.05
- Isolatoren, Abstandshalter, Barrieren 23.05, 32.07, 32.18, 32.20, 32.26, 32.35, 49.09
- Prüfmethoden 32.28, 32.36
- Teilentladungsmessungen/Diagnose 23.02, 23.07, 32.04, 32.12
- SF_6-Folien-Isolierung 49.03

3.3. Isoliergase (außer SF_6), Gasgemische 23.03, 32.03, 32.08, 32.11, 32.27, 49.10

3.4. Vakuum
- Einfluß von Restgas und Grenzflächen 48.02, 48.03, 48.09, 48.10
- Vordurchschlag und Durchschlag 48.04, 48.05, 48.07
- Feldemission 48.06
- Einfluß des magnet. Feldes auf den Vakuumdurchschlag 48.08

4. Luftdurchschlag, Freiluftisolation, Verschmutzung

4.1. Durchschlagverhalten von Luftfunkenstrecken (auch unter Umwelteinflüssen)
13.01, 13.02, 13.03, 22.07, 28.01, 28.02, 28.03, 28.04 30.06, 34.02, 34.06, 42.21, 46.02, 46.03, 46.04, 46.06 46.07, 46.08, 46.10, 47.13, 47.24, 47.27

4.2. Überschlagverhalten von Isolatoren, Durchführungen, Barrierenanordnungen auch unter Umwelteinflüssen (außer Verschmutzung)
12.06, 12.10, 13.03, 13.04, 22.28, 31.05, 34.02, 34.03 42.26, 46.01, 46.06, 46.10, 47.13, 47.16, 47.20, 47.24 47.26, 47.27, 47.33

4.3. Verhalten verschmutzter Isolieranordnungen
- Physikalische Apskete, Modelle 12.03, 12.05, 12.09, 30.09, 30.10, 47.21, 47.23, 47.25
- Verschmutzte Isolatoren (außer Kunststoff) 10.07, 12.04, 30.03, 30.04, 42.08, 47.14, 47.29
- Kunststoffisolatoren 12.01, 30.02, 47.17, 47.30, 47.31, 47.32, 47.38
- Verschmutzte Ableiter 26.01, 26.07, 26.10, 27.17, 30.05, 30.08
- Leicht verschmutzte Innenraumisolierungen 47.12, 47.22
- Koronaverhalten von Freileitungen 15.02, 22.02, 22.05, 22.08

5. Hochspannungs-Prüfausrüstungen und -verfahren

5.1. Prüfanlagen und Prüffelder
- Gesamtübersicht, Ausstattung von Prüffeldern 20.01, 20.03, 47.02
- Wechselspannungsprüfanlagen und Schaltspannungszusätze, Gleichspannungsprüfanlagen für Verschmutzungsprüfungen 47.34, 47.39
- Impulsspannungsprüfanlagen und deren Komponenten 20.06, 20.09, 41.04, 41.08, 47.07, 47.08, 47.10
- Impulsstromgeneratoren 41.07
- VFT-Prüfung 32.23, 42.28, 49.01
- EMC-Prüfung 25.03, 25.06
- Computergestützte Steuer-, Meß- und Auswertesysteme 42.31, 47.04, 47.10, 47.41

5.2. Prüfverfahren
- Mischspannungsprüfung, Zwischenphasenisolierungen
  20.04, 41.03, 47.01, 47.03
- Prüfung verschmutzter Isollerungen (einschließlich Ableiter)
  12.02, 12.07, 26.04, 26.05, 26.08, 28.05, 41.02, 47.18, 47.31, 47.34, 47.36
- Prüfung verlegter Kabel mit OSI 47.05
- Kapazitive Meßwandler 41.09

6. Hochspannungsmeßtechnik

6.1. Digitaltechnik/Digitizer
- Entwicklungsstand und -perspektiven 42.27, 50.02, 50.03
- Strommessung 10.08, 12.07, 50.07, 50.10
- Ladungsmessung 13.13. 14.01, 15.01, 42.03, 42.32, 43.05, 50.05
- Feldmessung 40.06, 40.07, 40.09, 42.01, 42.30, 44.03, 44.05, 44.07
- Meßdatenverarbeitung (data processing)
  15.10, 42.29, 43.10, 47.04, 47.09, 47.10, 50.06, 50.11
- Automatisierte Systeme, Diagnostik
  11.07, 15.01, 15.03, 22.12, 22.13, 22.18, 23.02, 27.38, 31.04, 42.19, 42.31, 43.07, 47.04, 47.41, 50.08

6.2. Optoelektronik
- Grundlagenuntersuchungen 42.11, 42.22, 50.01, 50.09
- Gerätetechnische Lösungen 42.11, 42.13, 42.20, 42.25, 42.30

6.3. Hochspannungsmeßeinrichtungen
- Impulsspannungsmeßteiler, Übertragungseigenschaften
  20.02, 20.05, 20.10, 41.01, 41.06, 41.10, 47.09, 47.11, 47.40, 47.42
- Preßgaskondensatoren 41.05, 47.06

7. TE-Meßtechnik und Diagnoseverfahren

7.1. Elektrische TE-Messung
- Gerätetechnische Entwicklungen 15.01, 15.08, 42.28, 43.05
- Störsignalreduzierung 11.05, 15.04, 15.06, 15.10, 31.04, 42.05, 43.10
- Rechnergestützte TE-Messung/Expertsysteme
  15.03, 15.07, 15.09, 15.12, 15.13, 15.18, 22.06, 27.38, 31.06, 43.04, 43.06, 43.07, 45.03

7.2. Akustische TE-Messung
- Quantifizierung akustischer TE-Signale 22.11, 43.08
- Fehlerlokalisierung 15.05, 22.09, 22.20, 23.07, 32.04, 32.12

7.3. Spezialprobleme
- Stand der TE-Meßtechnik 43.01
- TE-Messung an verlegten Kabeln 22.04, 27.36
- Störfeldstärkemessung 22.08, 42.04
- Mikroentladungen, Lichtenbergfigurentechnik
  22.17, 22.21, 43.02, 43.03

8. Blitz, Very Fast Transients, EMC

8.1. Blitzentladungen
- Blitzentladung, physikalische Erkenntnisse, Parameter
  10.03, 10.08, 27.13, 27.15, 27.16, 27.21, 27.23
- Ausbreitung von Blitzüberspannungen 10.02, 27.12, 42.18
- Blitzschutz
  10.04, 10.05, 10.06, 10.09, 27.02, 27.08, 27.09, 27.11, 27.19
- Isolationskoordination 10.01, 34.01, 27.06

8.2. Very Fast Transient
- Entstehung, Ausbreitung 25.07, 31.02
- Wirkung, elektrische Festigkeit gegen VFT
  22.24, 23.09, 23.10, 25.02, 26.03, 47.15, 49.05, 49.06
- Schutz vor VFT 25.09

8.3. EMC 31.03

9. Elektrostatik, biologische Effekte

9.1. Elektrostatik
- Elektrofilter 14.01, 14.02, 14.03, 14.05, 14.06, 14.07
- Statische Aufladung 14.04, 14.09

9.2. Biologische Effekte,
- Magnetisches Feld 29.01, 29.03, 29.05, 29.06, 32.30
- Wirkung von Entladungen 32.29, 32.31
- Toxische Wirkung von SF_6-Zersetzungsprodukten 32.34

M. Dietrich, Dresden EK 4169

AUS DER VERGANGENHEIT FÜR DIE ZUKUNFT LERNEN

Bericht von der konstituierenden Sitzung der „Kommission Geschichte der Elektrotechnik" (KoGET) im FV Elektrotechnik der KDT

Hundertzehn recht bewegte Jahre sind seit der Einführung des Namens „Elektrotechnik" vergangen. Nach dem Vorbild Englands gab es Ende der siebziger Jahre des vorigen Jahrhunderts auch in Deutschland Bestrebungen, eine Art Telegrafenverein zu bilden. Denn seit der Entdeckung des dynamoelektrischen Prinzips waren über zehn Jahre hinweg eine Reihe neuer Anwendungsmöglichkeiten für die so vielseitige Elektrizität erschlossen worden. Ihre anfängliche Bedeutung war mittlerweile weit über die Telegrafie hinausgewachsen. Aus diesen Erkenntnissen heraus und in weitsichtiger Einschätzung künftiger Entwicklungen schrieb deshalb *Werner Siemens* im Februar 1879 an den Reichs-Generalpostmeister *Heinrich von Stephan*, daß es ihm richtiger erscheine einen „elektrotechnischen Verein" zu gründen. Diesen Vorschlag aufgreifend schrieb *von Stephan* an bedeutende Persönlichkeiten dieser Zeit entsprechende Einladungen und am 20. Dezember 1879 war es dann soweit. In der Leipziger Straße 15, dem Sitz des damaligen Reichspostministeriums in Berlin, wurde der „Elektrotechnische Verein" (ETV) gegründet. Dieses Datum kann man getrost als den Geburtstag der „Elektrotechnik" bezeichnen. Schon ab 1880 erschien auch die „Elektrotechnische Zeitschrift" (ETZ), die bis heute eine ergiebige Quelle für die Geschichte der Elektrotechnik bildet. In den letzten Jahren ist das Interesse an der Geschichte der Elektrotechnik erfreulich angewachsen. So fand der Vorschlag, im Fachverband Elektrotechnik der Kammer der Technik eine Kommission „Geschichte der Elektrotechnik" zu bilden, eine allgemeine Zustimmung. Dazu angesprochene Fachkollegen erklärten sofort ihre Bereitschaft zur Mitarbeit und auf die in der Fachpresse veröffentlichten Aufrufe (siehe „Elektropraktiker", Heft 5/89, S. 130) gingen rund 50 Zuschriften mit Bereitschaftserklärungen aus allen Bezirken der DDR ein. Bis Mitte 1989 wurde ein erster Entwurf für ein Arbeitsprogramm der Kommission „Geschichte der Elektrotechnik" (KoGET) ausgearbeitet und allen, die ihre Mitarbeit zugesagt hatten, zugestellt. Den darauf eingegangenen Antworten sind, neben vorwiegend zustimmenden Einschätzungen, wertvolle Hinweise zur Verbesserung dieses Arbeitsprogramms zu entnehmen.

Damit konnte die Konstituierung der Kommission konkret in Angriff genommen werden. Es lag nahe, dafür den 110. Geburtstag der Elektrotechnik als symbolträchtigen Termin zu wählen. Als Tagungsort für die Gründungsversammlung bot sich das Gebäude des heutigen Postmuseums der DDR an, das unmittelbar neben dem historischen, im Kriege zerstörten Tagungsort gelegen ist. Auf den Tag genau 110 Jahre nach der Gründung des „Elektrotechnischen Vereins" fand am 20. Dezember 1989 an historischer Stätte die Bildung der Kommission „Geschichte der Elektrotechnik" (KoGET) im Fachverband Elektrotechnik der KDT statt.

Dazu hatten sich, trotz der zu dieser Zeit stürmischen, vielschichtigen Ereignisse und Probleme 31 Fachkollegen aus der ganzen DDR eingefunden. Darunter auch die beiden ehemaligen Vorsitzenden des Fachverbandes Elektrotechnik der KDT, Prof. Dr. *Frischmann* und Dr. *Auer*, die dankenswerter Weise die Leitung der konstituierenden Sitzung übernommen hatten.

Vom Direktor des Postmuseums, Herrn *Melz* wurden die Teilnehmer sehr herzlich begrüßt und dabei, auch im Namen des Vorsitzenden des Fachverbandes Nachrichtentechnik, Dr. *Uhlig*, versichert, daß eine enge Zusammenarbeit mit der gerade entstehenden Kommission angestrebt wird. Direktor *Melz* unterstrich in seinem Beitrag die historisch begründete Verbrüderung zwischen der Nachrichtentechnik und der Elektrotechnik, die schon mit den Gründern des ETV — *Siemens* und *von Stephan* frühzeitig begonnen und die auch im Anliegen und in der Geschichte des Postmuseums ihren Ausdruck findet. Der Vorsitzende des Fachverbandes Elektrotechnik, Prof. *Jähn*, stellte die sachliche Aufarbeitung der Geschichte der Elektrotechnik (besonders im Hinblick auf die für künftige Entwicklungen zu treffenden Entscheidungen) als wichtige Aufgabe heraus, wobei Verbindungen zwischen der neueren und der älteren Geschichte zu beachten seien. Er wünschte der Kommission viel Erfolg bei der Arbeit.

Prof. *Jähn* berief Dipl.-Ök. et Dipl.-Ing. *Rolf Besser* zum Vorsitzenden der Kommissionen und übergab ihm die Berufungsurkunde. Der neuberufene Vorsitzende der Kommission „Geschichte der Elektrotechnik" gab im Anschluß daran einen interessanten Abriß der frühen Geschichte der Elektrizität. Daran anknüpfend legte er danach sogleich erste Gedanken zur Arbeit und zur fachlichen Gliederung der Kommission dar.

In einem weiteren Vortrag zur Geschichte der Elektrotechnik zog Dr. *Henniger* vom Institut für Wirtschaftsgeschichte Lehren aus der in jüngster Geschichtsschreibung einseitig verschobenen Darstellung historischer Persönlichkeiten. Das wurde am Wirken solcher Persönlichkeiten wie *Heinrich von Stephan*, *Werner von Siemens* sowie *Georg Klingenberg* verdeutlicht.

Mit konstruktiven Hinweisen zum Entwurf des vorliegenden Arbeitsprogrammes verwies Dr. *Henniger* auf die zukünftig zu realisierende Absicht, ein Museum für Elektrotechnik/Elektronik zu gründen. Nach weiteren Erläuterungen zum Entwurf des Arbeitsprogrammes durch den neuberufenen Vorsitzenden Kollegen *Besser* begann eine rege Diskussion, die von den Anwesenden dazu genutzt wurde, viele sachdienliche Hinweise für die künftige Arbeit einzubringen. Dabei wurde übereinstimmend festgestellt, daß es für die Anlaufphase zweckmäßig ist, zunächst mit der Bildung von vier territorialen Arbeitsgruppen (Süd-Ost, Süd-West, Mitte Berlin, Nord) zu beginnen. Erst später sollen die sich im Laufe der Arbeiten ergebenden Fachgebiete formiert werden.

Für die Bildung der territorialen Arbeitsgruppen wurden Verantwortliche festgelegt, die sich bereiterklärten, bis zur Konstitu-

ierung der AG im Laufe des Jahres 1990 die Arbeit in den einzelnen Territorien zu koordinieren (Tafel 1).

Tafel 1. Territoriale Arbeitsgruppen der neugegründeten Kommission „Geschichte der Elektrotechnik" der KDT – Kontaktadressen

■ **AG Süd-Ost**
- Doz. Dr. sc. phil. Dr.-Ing. *Schubert*
  Technische Universität Dresden,
  Kustodie
  Mommsenstr. 13
  Dresden, 8027
- Dr. sc. techn. *Bartsch*
  Technisches Museum Dresden
  Reinhold-Becker-Straße 5
  Dresden, 8030
- Dr.-Ing. *Wenzel*
  Hans-Jübser-Straße 3
  Dresden, 8020

■ **AG Süd-West**
- Dr.-Ing. *Prast*
  Starkstromanlagenbau
  Leipzig – Halle,
  Betriebsteil Erfurt, Abt. TPT
  Kaufmänner Str. 7
  Erfurt, 5020
- Ing. *Ronneberger*
  Ernst-Schneller-Straße 1
  Erfurt, 5023

■ **AG Mitte/Berlin**
- Dipl.-Ing. *Bödeker*
  Elektroprojekt und Anlagenbau
  Berlin
  Rhinstraße 100
  Berlin, 1140

■ **AG Nord**
- Dr.-Ing. *Kowalewski*
  Hochschule für Seefahrt
  Sektion Schiffsbetriebstechnik
  Richard-Wagner-Straße
  Warnemünde, 2520

H. R. Besser, Berlin EK 4177

Zusammenarbeit KDT mit VdE

Eine enge Zusammenarbeit mit dem in Berlin gegründeten „VdE der DDR" und den in einigen Industriezentren entstehenden Bezirksvereinen beschloß am 26. 4. 1990 der Vorstand des Fachverbandes Elektrotechnik der KDT in Anwesenheit des VdE-Vorsitzenden. Damit wird dem Interesse vieler KDT-Mitglieder entsprochen, die Mitglied des VdE geworden sind oder werden wollen.

Die Zusammenarbeit des KDT-Fachverbandes mit dem VdE zielt darauf ab, gemeinsam auf dem Gebiet der nationalen und internationalen Standardisierung zu wirken und die Einführung europäischer Standards in der DDR zu unterstützen. Es ist vorgesehen, wissenschaftliche Veranstaltungen gegenseitig zu fördern bzw. gemeinsam durchzuführen.

Vorstand des
Fachverbandes
Elektrotechnik EK 4245

AUS ANDEREN ZEITSCHRIFTEN

Die Elektroenergetik Australiens

Faibisovitsch, D. L.: Energochosjaistvo sa rubeshom (1989) 6, S. 43, 44

Die sechs Bundesstaaten sowie die Insel Tasmanien von Australien weisen selbständige Elektroenergiesysteme (EES) auf. Außerdem erfolgt die Elektroenergieversorgung der Hauptstadt Canberra und Umgebung von einem autonomen EES. Die großen Entfernungen und geringe Elektroenergie-Verbrauchsdichte in den nördlichen und westlichen Landesteilen erschweren einen Parallelbetrieb der einzelnen EES.

Die installierte Leistung der öffentlichen Kraftwerke beträgt 34600 MW (92%). Im Jahre 1988 wurden 82% der Elektroenergie in Kohlekraftwerken und die restlichen 18% in Gas- und Wasserkraftwerken erzeugt. Australien besitzt und plant keine Kernkraftwerke in der nächsten Zukunft, exportiert jedoch 28% des Welturanbedarfes. Bis zum Jahre 2000 wird mit mittleren Elektroenergie-Zuwachsraten von 2,9% gerechnet.

Das größte EES weist der Staat Neu-Süd-Wales mit einer maximalen Last von 8800 MW auf. Das Steinkohlenkraftwerk Bathwater ist mit 2640 MW das größte. Die Wasserkraftwerke in den dortigen Gebirgen haben eine installierte Leistung von 3700 MW. Sydney, mit 3 Millionen Einwohnern, wird von drei 500-kV-Leitungen versorgt. Im flächenmäßig großen Staat Queensland kommen hauptsächlich kleine Typkraftwerke zum Einsatz. Sonnenkraftwerke finden dort Verbreitung und die Erdwärme soll genutzt werden. Im Staat Südaustralien sind 30 Versuchs-Windkraftanlagen in Betrieb.

Es ist der Parallelbetrieb über 275-kV-Leitungen der EES von den Staaten Neu-Süd-Wales, Victoria, und Süd-Australien vereinbart worden. Im Staat Victoria mit Melbourne ist ein Gasturbinen-Kraftwerk mit 465 mW in Betrieb, und es ist ein Erdgasblock mit 500 MW Leistung geplant. Die Nutzung von Erdgas nahm in Australien im Laufe der letzten Jahre zu. Die Insel Tasmanien deckt zu praktisch 100% ihren Elektroenergiebedarf mit den 25 Wasserkraftwerken, wo der maximale Verbrauch bei 1476 MW liegt.

E. Broßmann, Berlin EK 4160

Schneisen von Freileitungen mit Hubschraubern entästet

Nauka i shisn (1989) 12, S. 54

Die Freihaltung der Hochspannungs-Leitungsschneisen von hineingewachsenen Baumästen wird immer problematischer für die Energieversorgungs-Unternehmen. Die frühere Praxis der überbreiten Schneisen stößt wegen der Vielzahl der Leitungen und der dadurch unnötig vergeudeten Waldfläche auf heftigsten Widerstand der Umweltschützer. Die speziellen Forstbrigaden müssen unter diesen Bedingungen regelmäßig mit Spezialfahrzeugen (Personenhebebühnen-Fahrzeuge) die Schneisen entästen, was insbesondere in Berg- und Sumpfgebieten sehr aufwendig und schwer lösbar ist.

Aus diesen Gründen wurde in den USA zum Entästen entlang der Schneisen die Hubschraubertechnologie eingeführt. An einem Stahlrohr, welches klappbar am Hubschrauber angebracht ist, wurde ein Vorsatz mit zehn übereinander angeordneten Kreissägescheiben angebracht. Diese Sägescheiben werden mittels Riementrieb von einem Zweitakt-Benzinmotor einer Leistung von 29,4 kW (40 PS) im Hubschrauber angetrieben. Der Sägemotor wird auf der Erde gestartet, und die dann ausgeklappte Säge erst über der Schneise mittels Kupplung in Betrieb genommen. Der Hubschrauber fliegt die Schneise entlang und entästet mit dieser Spezialsäge, ähnlich einer großen Motorheckenschere, die Schneise in vertikaler Richtung. Diese Hubschraubertechnologie erlaubt in einer Arbeitswoche 15 bis 20 km Waldschneise beidseitig zu entästen.

E. Broßmann, Berlin EK 4146

Energiesparen – der Magistralweg

Nauka i shisn (1990) 1, S. 2–4

In den 21 Mitgliedsländern der internationalen Energieagentur wuchs das Bruttosozialprodukt von 1973 bis 1986 um 32% bei einem Anstieg des Energieverbrauchs um lediglich 5%. Eine Spitzenstellung nimmt darunter Japan ein, ein Land, das 1986 immerhin 6% weniger Energie als 1973 verbrauchte, jedoch ein um 46% höheres Bruttosozialprodukt zu verzeichnen hatte. Ohne diese Energiesparpolitik müßten heute umgerechnet 1,5 Mrd. t Steinkohle weltweit, zusätzlich, mit den entsprechenden Konsequenzen für die Umwelt verbrannt werden.

Heute werden auf Erdöleinheiten (EE) umgerechnet etwa 7 Millarden Tonnen fossile Brennstoffe verbrannt, davon 42% Erdöl, 34% Kohle und 24% Erdgas. In Wasserkraftwerken werden 524 Millionen Tonnen EE und in Kernkraftwerken 400 Millionen Tonnen EE erzeugt, sowie aus der Biomasse (Holz und organische Abfälle, die direkt verbrannt oder in Biogas umgewandelt werden) 2 Milliarden Tonnen EE gewonnen. Versuchshäuser mit Wanddicken bis 200 mm, Dächern bis 300 mm und Fußböden bis 100 mm erlauben selbst in Gebieten mit rauhen Klima bis zu 80% der Heizenergie zu sparen. Problematisch ist jedoch die schlechte Luftzirkulation in diesen Häusern, die stehende Luft wird mit Dämpfen der Isolierschaumstoffe angereichert.

Große Effekte werden vom Energiesparen in den Haushalten und in der Metallurgie erwartet. Wärmepumpen, Waschpulver, die bei Wassertemperaturen bis zu 40 °C voll wirksam werden, und Kühlschränke sowie Heizplatten mit einem Drittel Energieverbrauch im Vergleich zu den bisherigen sind die ersten Maßnahmen, die entsprechend des US-Standards vom März 1987 bis zum Jahre 2000 dort 22 Großkraftwerke erübrigen sollen. Die Nutzung in der Sowjetunion der in Japan angewandten energiesparenden Metallurgietechnologien, die größtenteils in der Sowjetunion entwickelt worden sind, würde die in den Kernkraftwerken der UdSSR erzeugte Energie einsparen.

E. Broßmann, Berlin EK 4147

ELEKTRIČESTVO — Fachzeitschrift für Theorie und Praxis

Es ist in der UdSSR die älteste und im Weltmaßstab eine der ältesten Fachzeitschriften der Elektrotechnik. Sie erscheint seit Juli 1880.

Die Fachzeitschrift ist das Organ der Akademie der Wissenschaften der UdSSR, des Komitees für Wissenschaft und Technik sowie der Zentralverwaltung der wissenschaftlich-technischen Gesellschaft der Energetiker und Elektrotechniker. Hochqualifizierte Spezialisten auf dem Gebiet der Elektrotechnik, Energetik, Automatisierung von Produktionsprozessen und elektrotechnischer Materialien sind die Leser.

Die Redaktion EK 4182

Stand und Perspektiven der Wechselstromleitungen über 1000 kV

Iliničnin, V. V.; Kartaschev, I. I.; Miroljuboy, V. A.: Električestvo (1989) 6, S. 9 bis 15

Im Jahre 1985 ging die erste 1150-kV-Leitung in der Sowjetunion in Betrieb. An dieser Höchstspannungs-Übertragungstechnik wird heute noch in Italien, Japan, der USA, Brasilien und der VR China gearbeitet. Die Hauptgründe für den Übergang auf diese Spannungsebene sind folgende:

1. weit entfernte Energiequellen von den Hauptverbrauchern; 2. Baubeschränkungen für Kraftwerke in dichtbesiedelten Gebieten aus Umweltschutzgründen und 3. Verminderung des Transportaufwandes. Die Notwendigkeit und Termine für die Errichtung dieser Höchstspannungsleitungen werden von den wirtschaftlichen Umständen und nicht technischen Bedingungen bestimmt. Heute sind die hauptsächlichen technischen Probleme dieser Leitungen praktisch gelöst.

Italien plant, den ersten Teil der 1050-kV-Leitung mit einem SF_6-isolierten Umspannwerk 420/1050 kV im Jahre 1990 abzuschließen, der 20 km lang sein soll und im Leerlauf betrieben wird. Der zweite Teil wird eine Länge von 45 km aufweisen, und dann diese 65 km lange 1050-kV-Leitung einer Durchlaßfähigkeit von 5000 MW über ein zweites 420/1050-kV-Umspannwerk in das italienische Verbundnetz einbeziehen. Das Projekt geht von folgenden Parametern aus: Nennspannung — 1050 kV, Nennstrom — 6 kA, Nennstrom der beiden Sammelschienen — 8 kA, Kurzschlußstrom — 63 kA, zulässige Überspannung für die SF_6-isolierten Geräte — 1675 kV und Freiluftgeräte — 1800 kV.

1992 soll in Japan eine 250 km lange 1000-kV-Doppelleitung mit Masten einer Höhe von 108 m und Mastauslegern von 33 m Länge in Betrieb gehen, die voraussichtlich bis 2000—2010 mit 500 kV betrieben wird. Nach der Umstellung auf Nennspannung weist diese Doppelleitung eine Durchlaßfähigkeit von 13000 MW auf. In den USA wird die Notwendigkeit derartiger Leitungen erst nach dem Jahre 2000 gesehen. Im Jahre 2010 soll der Energietransport von den Wasserkraftwerken an den Zuflüssen des Amazonas in die Hauptverbrauchszentren Brasiliens über zwei 1050-kV-Leitungen mit einer Durchlaßfähigkeit von 8000 MW und einer Länge von 2400 km erfolgen. In der VR China begannen Prüffelduntersuchungen bezüglich dieser Spannungsebene, die für den Elektroenergietransport aus den entfernten Wasserkraftwerken benötigt wird.

In den USA werden heute bereits Probleme der noch höheren Spannungsebene von 1600—1800 kV in Angriff genommen. Es sind schon Versuche an einem einphasigen 333-MVA-Transformator 1785/835/420 kV durchgeführt worden.

Einen entscheidenden Stellenwert haben die ökologischen Anforderungen an diese Leitungen (Lärm, Radio- und Fernsehstörungen, Feldstärke), deren Bündel im allgemeinen aus 8 Leitern bestehen. Die zulässige Feldstärke ist in vielen Ländern entsprechend der Norm für die niedrigeren Spannungsebenen mit 5 kV/m festgelegt worden. Das Bonneviller Energiesystem (BPA) differenziert die Grenzwerte: 9 kV/m unter der Leitung und 2,5 kV/m über Parkplätzen. Der Geräuschpegel von der Koronaentladung oder der Leiterseilvibration darf in den meisten Ländern 60 db nicht überschreiten.

E. Broßmann, Berlin EK 4049

IGBT — ein neues Halbleiter-Leistungsbauelement

Humphreys, M. J.; Barnes, J. P.: An Introduction to the IGBT. PCIM EUROPE 1 (1989) 3, S. 134—138 ([1])

Scharf, A.: IGBT — The Great Substitutor? PCIM EUROPE 1 (1989) 1, S. 16—18 ([2])

Dual Driver between Logic and IGBTs. PCIM EUROPE 1 (1989) 1, S. 31 ([3])

Bayerer, R. u.a.: Advanced Module IGBT Technology for Dynamic Motor Drives. PCIM EUROPE 1 (1989) 2, S. 80—82 ([4])

IGBT for 1800 Volts. PCIM EUROPE 1 (1989) 3, S. 148—149 ([5])

Eine Reihe von Arbeiten in der Zeitschrift PCIM EUROPE beschäftigt sich mit aktuellen Aspekten des Insulated Gate Bipolar Transistor (IGBT), worauf im folgenden zusammenfassend eingegangen wird.

Struktur und Technologie des IGBT werden in [1] erläutert. Ein Ersatzschaltbild zeigt die darlingtonartige Struktur mit einem MOSFET gateseitig und dem Bipolartransistor lastseitig. Letzterer bildet mit einem weiteren bipolaren Transistorelement eine parasitäre Thyristorstruktur. Am Beispiel des Valvo-Kleinleistungs-IGBT BUK 854—800 (800 V/6 A) wird das statische Verhalten beschrieben: bei $U_{GE} = 10$ V und $I_C = 6$ A beträgt die Durchlaßspannung 2,6 V; dieser Wert verringert sich mit zunehmender Sperrschichttemperatur. Das Ausschaltverhalten weist einen raschen Abfall des Stromes auf etwa 1/3 I_C auf (bewirkt durch das Abschalten des MOS-Kanals), gefolgt von einer langsameren Schweifphase (bedingt durch Rekombination im Bipolarteil). Der beim Ausschalten an induktiver Last maßgebliche Sichere Arbeitsbereich (Reserve Biased Safe Operating Area — RBSOA) zeigt die stromabhängige Verringerung der Blockierfähigkeit des IGBT: für den genannten Typ von 800 V bei 1 A auf 500 V beim maximal zulässigen Pulsstrom von 20 A. Weiterhin wurden die Ausschaltverluste untersucht und, zusammen mit den Durchlaßverlusten, für einen typischen Anwendungsfall (Pulswechselrichter für Drehstromantrieb) berechnet. Die Ergebnisse für den IGBT (Chipfläche 20 mm²) wurden verglichen mit den Werten für zwei parallelgeschaltete 500-V-MOSFET (Chipfläche insgesamt 76 mm²). Hiernach liegt der vorteilhafte Einsatzbereich dieses IGBT-Typs bei Frequenzen unterhalb 15 kHz und Ausgangsleistungen über 1 kV.

Ein tabellarischer Vergleich der Daten und Eigenschaften des IGBT gegenüber GTO, Bipolartransistor und MOSFET wird in [2] angestellt, wobei als Vorteile des IGBT genannt werden:

- niedriger Steuerleistungsbedarf durch MOS-Eingang mit relativ kleiner Eingangskapazität
- hohe chipflächenbezogene Stromtragfähigkeit
- im Vergleich zum MOSFET: höhere Sperrspannung, keine parasitäre antiparallele Diode
- im Vergleich zum Bipolartransistor: höhere Schaltfrequenz (bis etwa 20 kHz).

Als Nachteil ist die Gefahr eines Einschaltens der enthaltenen parasitären Thyristorstruktur (sog. latch up) zu berücksichtigen. Neuere IGBT-Entwicklungen seien jedoch, wie seitens Toshiba festgestellt wird, weitgehend latch-up-fest. Weiter wird auf Parallelschaltbarkeit von IGBT eingegangen. Gemeinsame Untersuchungen von Siemens und Semikron zeigen eine Übertragbarkeit der dynamischen Eigenschaften des Einzelbauelements auf die Parallelschaltung, allerdings unter Beachtung eines Reduzierungsfaktors sowie eines strikt symmetrischen Schaltungsaufbaus. Zum Steuerverhalten wird betont, daß im unteren Leistungsbereich eine Direktansteuerung aus CMOS-Schaltkreisen möglich ist. Damit lassen sich die Funktionen von PWM-Prozessor, Überwachung und Treiberstufen in einem einzigen anwendungsspezifischen Schaltkreis (ASIC) zusammenfassen. Für IGBT höherer Ströme sind allerdings zusätzliche Treiber erforderlich; in bestimmten Anwendungsfällen auch mit einer negativen Spannung. Zwei Schaltungsbeispiele diskreter Treiberstufen schließen sich an.

Der monolithische Treiberschaltkreis IR 2110, vorgestellt in [3], ermöglicht die duale Ansteuerung zweier IGBT oder MOSFET eines Brückenzweiges. Mit maximalen Treiberströmen von + 1 A bzw. — 2 A läßt sich pro Zweighälfte z. B. eine Parallelschaltung zweier IRF 450 (13 A/500 V) in weniger als 100 ns schalten. Als äußere Beschaltungselemente sind erforderlich: eine Diode, ein Kondensator, drei Widerstände.

Mit neuartigen Modulkonstruktionen für IGBT beschäftigt sich [4]. Generell wird angestrebt, die Zahl der Materialschichten zwischen Si-Chip und Kühlkörper zu verringern, um die thermische Wechsellastfähigkeit zu erhöhen und gleichzeitig den thermischen Widerstand herabzusetzen.

Ein erster Schritt war der Übergang von der gelöteten Schichtenfolge: Si—Mo—Cu—Al_2O_3—Cu auf die unmittelbare Kupferbeschichtung der Keramik (Direct Copper Bonding — DCB). In einer weiteren

Entwicklungsstufe entfällt zusätzlich die Lötzone zwischen DCB-Substrat und Cu-Grundplatte, indem die kupferbeschichtete Keramikfläche direkt den Boden des Modulgehäuses bildet und mit dem Kühlkörper in Kontakt tritt. Das Modulgehäuse ist mit einer Gummimasse vergossen, über welche die Andruckkraft auf das DCB-Substrat übertragen wird. Die Materialien wurden so dimensioniert, daß bei Temperaturerhöhung ein Überdruck im Gehäuse entsteht, der eine Verringerung des thermischen Übergangswiderstandes bewirkt. Entsprechende Ausführungsformen von ABB für bis zu 200 A/1000 V werden vorgestellt. Für höhere Leistungen sind Module auf Wärmerohr-Basis vorgesehen. Für den Bereich bis 25 A/1000 V werden Drehstrombrücken (six pack) mit Lötanschlüssen angeboten, was den kompakten Aufbau kompletter PWM-Umrichter auf einer Mehrschicht-Leiterplatte ermöglicht.

Eines der nächsten Entwicklungsziele bei IGBT ist nach [2] die Erhöhung der Spannungsfestigkeit auf 1400 V. Als ein Beispiel dieser Bestrebungen wird in [5] über das Entwicklungsmuster eines 1800-V-IGBT (Sustaining-Spannung 1400 V) berichtet. Die für IGBT charakteristische Schichtenfolge: $p^+—n^+—n^-$ wird dabei nicht epitaktisch, sondern mittels des sogenannten Siliziumscheiben-Direktbonden (Silicon wafer Direct-Bonding — SDB) erzeugt. Nach dieser neuartigen Technologie werden zwei durch Diffusion vorbehandelte und spiegelpolierte Si-Einzelscheiben aufeinandergebracht und in einem Wärmebehandlungsprozeß bei etwa 1100 °C zusammengefügt.

F. Fischer, Dresden EK 4173

DISSERTATIONEN

Langzeitverhalten der Windungsisolierung von Niederspannungs-Asynchronmaschinen bei komplexer thermischer und elektrischer Belastung mit Impulsspannung

Dissertation A, TU Dresden 1989
Von *C. M. Guerra*

Gutachter
Doz. Dr. sc. techn. *M. Eberhardt*, TU Dresden
Prof. Dr.-Ing. habil. Dr. h. c. *W. Mosch*, TU Dresden
Doz. Dr. sc. techn. *D. Amft*, TU Karl-Marx-Stadt
Dr.-Ing. *W. Golbig*, KEM Dresden

An Modellprüfkörpern wurde die Abhängigkeit der Ausfallzeit der Windungsisolierung von der Temperatur sowie der Amplitude, der Form und der Häufigkeit der Impulsspannungsbelastung experimentell ermittelt. Die gefundenen Zusammenhänge wurden physikalisch interpretiert und mathematisch beschrieben. Die Übertragbarkeit auf komplette Maschinen wird diskutiert und es werden Schlußfolgerungen für den Betrieb gezogen.

EK 4142

Zur Dimensionierung von Teller-Segmentelektroden für Hochspannungs-Prüfanlagen unter besonderer Berücksichtigung konstruktiv-technologischer Aspekte

Dissertation A, TU Dresden 1989
Von *W. Schufft*

Gutachter
Prof. Dr.-Ing. habil. Dr. h. c. *W. Mosch*, TU Dresden
Doz. Dr. sc. techn. *W. Hauschild*, TuR Dresden
Dr.-Ing. *J. Beran*, PRI Prag

Einleitend wird der konstruktive Aufbau von Teller-Segmentelektroden beschrieben, und es werden mögliche Ausführungsvarianten systematisiert. Es werden neuartige Methoden der Berechnung des dreidimensionalen elektrischen Feldes vorgestellt und die Dimensionierung auf der Basis des Vergrößerungsgesetzes der Statistik und mit Hilfe umfangreicher experimenteller Ergebnisse beschrieben. Die Berechnungen solcher Elektroden werden an ausgeführten Hochspannungs-Prüfanlagen erläutert.

EK 4144

Zur Anwendung der Röntgenstrahlenmessung im Herstellungsprozeß von Vakuumschaltkammern

Dissertation A, TU Dresden 1989
Von *G. Langowski*

Gutachter
Prof. Dr. sc. techn. *H. Böhme*, TU Dresden
Dr.-Ing. *H. Fink*, OB-SAD
Dr.-Ing. *H. Günther*, KAEB/ZFT Berlin

Mittels Messung der räumlichen Verteilung der Röntgenstrahlung von Vakuumschaltkammern wird auf Unregelmäßigkeiten der Elektroden (Oberflächen, Stellung) geschlossen, wie sie beim Herstellungsprozeß auftreten können. Die Arbeit ist ein Bindeglied zwischen physikalischen Kenntnissen zur Röntgenstrahlung und der Kammertechnologie.

EK 4139

Modelluntersuchungen zum Schaltspannungsüberschlag langer Isolatoren mit leitfähigem Oberflächenbelag

Dissertation A, TU Dresden 1989
Von *M. Zhirh*

Gutachter
Prof. Dr. sc. techn. *E. Lemke*, TU Dresden
Prof. Dr. sc. techn. *J. Pilling*, TH Zittau
Dr.-Ing. *H. Streubel*, Kombinat KWH
Prof. Dr.-Ing. habil. Dr. h. c. *W. Mosch*, TU Dresden

Im Rahmen eines Forschungsprojektes der CIGRE-Arbeitsgruppe WG 33.03 „Elektrische Festigkeit von Freiluftisolierungen bei transienten Überspannungen" erfolgten Grundlagenstudien zum Schaltspannungsüberschlag eines glatten Stabisolators bei gleichmäßig und ungleichmäßig verteilter Fremdschicht. Reproduzierbare Meßbedingungen wurden durch einen geschlossenen Kreislauf des die Isolatoroberfläche benetzenden Elektrolyts erzielt.

Systematische Untersuchungen der räumlich-zeitlichen Entladungsentwicklung führten zu neuartigen Erkenntnissen bezüglich dominierender physikalischer Entladungsparameter. Darauf aufbauend erfolgte die Modellierung des Überschlagprozesses sowohl bei gleichmäßig als auch bei ungleichmäßig verteilter Fremdschicht. Auf der Grundlage dieses Modells ist eine Deutung charakteristischer Minimumkurven möglich und damit auch die Abschätzung minimaler Stehspannungen. Aus dem Modell können außerdem Hinweise für die Dimensionierung von Impulsspannungsprüfanlagen für Verschmutzungsprüfungen abgeleitet werden. Im Ergebnis der Arbeit ist einzuschätzen, daß insbesondere bei leichter Verschmutzung die Schaltspannungsfestigkeit gegenüber der reiner Luftfunkenstrecken stark absinkt, diese Problematik jedoch erst bei Übertragungsspannungen von über 380 kV bei der Isolationsbemessung zu beachten ist.

EK 4143

Zur Erwärmung elektrotechnischer Betriebsmittel, insbesondere Hochspannungsgeräten, bei zeitveränderlicher Strom- und Umgebungsbelastung mit Berücksichtigung der Verhältnisse in südlichen Ländern

Dissertation A, TU Dresden 1989
Von *S. Al-Jabi*

Gutachter
Prof. Dr. sc. techn. *H. Böhme*, TU Dresden
Dr.-Ing. *S. Großmann*, OB-SAD
Dr.-Ing. *W. Pflicke*, TuR Dresden

Die Arbeit stellt Belastungsgrößen (Strom, Umgebungstemperaturen, Sonnenstrahlung, Wind) für Mitteleuropa und die arabischen Länder zusammen. Ihr Einfluß auf die Erwärmung von Stromschienen, Schaltschränke und Transformatoren wird mit systemtheoretischen Methoden (Impulsantwort wird mittels Faltung auf beliebige Verläufe der Eingangsgrößen übertragen) berechnet. Auf Spezifika des Einsatzes von Betriebsmitteln in südlichen Ländern wird hingewiesen. Die Ergebnisse sind wichtig für die Projektierung von Elektroenergietransport-Einrichtungen in südlichen Ländern sowie für die Einschätzung von Betriebsmitteln zum Einsatz in südlichen Ländern.

EK 4138

Zur Erschließung von Reserven der mechanischen Belastbarkeit von Stromleiteranordnungen bei Kurzschlußstrombelastung

Dissertation A, TU Dresden 1989
Von *F. Golletz*

Gutachter
Prof. Dr. sc. techn. *H. Böhme*, TU Dresden
Doz. Dr. sc. techn. *Stegemann*, IH Berlin
Dr.-Ing. *J. Schwarz*, TRO Berlin

Die Arbeit löst beispielhaft die Wirkungskette von der statistisch streuenden Kurzschlußstrombelastung im Netz über die mechanisch-dynamische Beanspruchung von Stromleiter und 110-kV-Stützer, die statistisch verteilte Festigkeit der Stützer bis zur Versagenswahrscheinlichkeit. Sie erschließt Reserven und macht auf Schwachstellen (insbesondere für Hochspannungsgeräte) aufmerksam.

W. Mosch, Dresden EK 4140

PATENTE

Automatisierungsgerechte Magnetspule

DD-WP: 273 915
Int.-Cl.: H 01 F 5/02
Anmeldetag: 08. 07. 88
Anmelder: EAW Elektronik Dresden

Die Erfindung bezieht sich auf die konstruktive Gestaltung einer automatisierungsgerechten Magnetspule, die vorzugsweise mit einem beweglichen Anker als Magnetventil zum Öffnen bzw. Schließen von Durchflußkanälen geeignet ist.
Es sind Magnetspulen bekannt, die Spulenkörper enthalten, welche Lötstifte bzw. Wickeldorne zum Anwickeln des Drahtes besitzen und deren Kontaktierung nach außen in unterschiedlicher Weise erfolgt.
Bekannt sind aber auch Spulenkörper mit Wickeldornen, deren Kontaktgabe zu masseführenden Gehäuseteilen durch eine radiale Berührung erfolgt, wobei Kontaktunsicherheiten bestehen, da keine Federkräfte diese Kontaktgabe unterstützen.
Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, die Magnetspule so zu gestalten, daß bei Anordnung beider Anwickeldorne für die Spulenwicklung auf einer Stirnseite des Spulenkörpers und bei Einhaltung kleinstmöglicher Abmessungen eine zuverlässige Massekontaktierung über das Gehäuse gewährleistet ist.
Die Aufgabe wird dadurch gelöst, daß an einer Stirnseite des Spulenkörpers zwei Anwickeldorne zur Aufnahme von Wickelanfang und -ende angeordnet sind, die nach dem Anwickeln radial abgewickelt werden. An der gegenüberliegenden Stirnseite des Spulenkörpers befindet sich eine Massekontaktfeder, deren Länge so groß ist, daß sie abgewickelt über den Wickelraum des Spulenkörpers reicht. Ohne zusätzliche Bauteile und ohne Isolierung wird so eine platzsparende und sichere Masseverbindung hergestellt. Der abgewickelte Anwickeldorn wird dabei so überlappt, daß an der Überlappungsstelle eine stoffschlüssige und elektrisch leitende Verbindung vorhanden ist. Mit der getrennten Ausführung von Anwickeldorn und Massekontaktfeder ist es möglich, Blechdicke und Kantenausführung der Massekontaktfeder bei rationeller Technologie entsprechend den Erfordernissen der Federwirkung auszuführen und die Anwickeldorne in ihrer konstruktiven Gestaltung uneingeschränkt gemäß den Anforderungen des automatischen Anwickelns auszuführen. Um einerseits die Lage der Anwickeldorne zu fixieren und die für sie notwendigen Aussparungen abzudecken und andererseits eine glatte und geschlossene Fläche für genormte Dichteelemente zu erhalten, wird der Spulenkörper mit einem entsprechend geformten Deckel versehen, der auf seiner Überseite eine Dichtkontur aufweist.

D. Ufert, Berlin EK 4163

Verfahren zur Regenerierung von Isolatoren, insbesondere von Keramikisolatoren

DD-WP: 274298
Int.-Cl.: H 01 B 19/00
Anmeldetag: 22. 07. 88
Anmelder: Werkzeugmaschinenkombinat „Fritz Heckert" Karl-Marx-Stadt

Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zur Regenerierung von Isolatoren, insbesondere von Keramikisolatoren, deren Oberfläche während des Gebrauches von einer die Isoliereigenschaft einschränkenden bzw. zerstörenden Metallschicht überzogen wurde.
Auf der Oberfläche von Keramikisolatoren kann sich im Verlaufe ihres Gebrauches eine Metallschicht bilden. Dadurch verlieren sie ihre Eigenschaft als Isolatoren und werden somit unbrauchbar. So ruft z.B. bei den in den Katodensteckern für die Strahlerzeugung in Elektronenstrahlschweißanlagen befindlichen Keramikisolatoren der Elektronenstrahl ihre Bedampfung hervor. Die sich bildende Metallschicht führt zu Überschlägen und zum Ausfall der isolierten Steckverbindung. Die bedampften Isolatoren müssen gegen neue ausgetauscht werden. Es ist bekannt, daß durch mechanische Bearbeitung wie Putzen oder Abreiben die Isoliereigenschaft wieder hergestellt werden kann. Das bringt aber meist nur eine kurzzeitige Wiederverwendung der gereinigten Isolatoren. Zudem ist bei sehr kleinen Keramikisolatoren, wie sie z.B. bei den o.g. Katodensteckern Verwendung finden, eine gründliche Reinigung der Oberfläche auf diese Art und Weise nicht möglich.
Die Aufgabe der Erfindung besteht in der Schaffung eines Verfahrens zur Regenerierungs von Isolatoren, insbesondere von Keramikisolatoren, das es ermöglicht, die sich auf den Isolatoren bildende Metallschicht vollkommen zu entfernen.
Erfindungsgemäß werden die Isolatoren zunächst mit auf eine Temperatur von 60 bis 80 °C erhitzter Salzsäure 1 + 1 behandelt, dann erfolgt ihre Spülung in Wasser bis zur Säurefreiheit, anschließend wird die Trocknung der Isolatoren bei einer Temperatur von 105 bis 110 °C durchgeführt, danach findet eine 5 Minuten dauernde Glühbehandlung unter einer Temperatur von 950 bis 1000 °C in sauerstoffhaltiger Atmosphäre statt, und schließlich werden die Isolatoren in trockener Umgebung abgekühlt.
Nach einem weiteren Merkmal des erfindungsgemäßen Verfahrens wird der Salzsäure 1 + 1 Salpetersäure zugesetzt.

D. Ufert, Berlin EK 4162

IN DIESEN TAGEN...

PCIM '90

Konferenzveranstaltung mit Ausstellung
Zeit: 26. bis 28. Juni 1990
Ort: München

Auf der PCIM '90 (Power Conversion and Intelligent Motion) sind Vortragsreihen über Intelligent Motion (IM) für Ingenieure aller Fachrichtungen geplant.

Anfragen
INCOM ZIEROTH & PARTNER GmbH
Kleinreuther Weg 58
D-8500 Nürnberg 10
Telefon: (0911) 36888
Telefax: (0911) 364522
Telex: 623258 incom d

Die Redaktion

TECHNISCHE UNIVERSITÄT GRAZ

Am Institut für Hochspannungstechnik der Fakultät für Elektrotechnik der Technischen Universität Graz ist die Planstelle eines/r

Ordentlichen Universitätsprofessors/in für Hochspannungstechnik

(Nachfolge für Univ.-Prof. **Gsodam**) wieder zu besetzen.

Der Bewerber/die Bewerberin hat das Fachgebiet Hochspannungstechnik in Lehre und Forschung zu vertreten. Voraussetzung für eine erfolgreiche Bewerbung ist der Nachweis einer umfassenden wissenschaftlichen Tätigkeit auf dem genannten Fachgebiet oder dessen Teilgebieten. Weitere Erfordernisse sind eine entsprechende abgeschlossene inländische oder gleichwertige ausländische Hochschulbildung sowie eine an einer österreichischen Universität erworbene oder gleichwertige ausländische Lehrbefugnis bzw. eine der Lehrbefugnis gleichzuwertende wissenschaftliche Befähigung für das genannte Fach. Einschlägige Industrieerfahrung ist erwünscht.

Bewerbungen, einschließlich einer Darstellung der bisherigen Tätigkeit, einer Liste der wissenschaftlichen Veröffentlichungen und Arbeiten, sind bis zum 23. Juli 1990 an den Dekan der Fakultät für Elektrotechnik der Technischen Universität Graz, Kopernikusgasse 24, A-8010 Graz, Österreich, zu richten.

BÜCHER

Oszillatoren

Von *G. Kurz*. Berlin: Verlag Technik 1988. 158 Seiten, 132 Bilder, 4 Tafeln, 16,50 M.

Im Zeitalter der Mikroelektronik sind die Anforderungen an Oszillatoren bezüglich Frequenz- und Amplitudenkonstanz sowie Rauschverhalten erheblich gestiegen, so daß früher übliche empirische Entwurfsverfahren nicht mehr ausreichen. Aber auch exakte theoretische Berechnungsverfahren, die Gegenstand zahlreicher Publikationen sind, führen aufgrund der nichtlinearen Systemeigenschaften von Oszillatoren nur selten zum gewünschten Erfolg, so daß vereinfachte Näherungsverfahren einen sinnvollen Kompromiß darstellen dürften. In diesem Sinne verfolgt die vorliegende Broschüre das Ziel, dem Leser bei der Auswahl und beim Entwurf von Oszillatoren Anregungen zu geben, indem neben Grundlagen der Schaltungstechnik übliche Analysemethoden, ohne zu hohe theoretisch-mathematische Ansprüche, vermittelt werden.
Ausgehend von einer einführenden Betrachtung im Kapitel 1 werden übliche Oszillatorschaltungen in übersichtlicher Weise im Kapitel 2 abgehandelt. Ausgehend von der klassischen Schaltung nach *Meißner* (1913) erfolgt eine Systematisierung im Sinne von Dreipunkt-, Brücken- und PC-Schaltungen. Daran anschließend wird auf spezielle Oszillatoren mit Resonatoren sowie auf Verzögerungsleitungs- und Zweipoloszillatoren eingegangen.
Die Analyse von Oszillatorschaltungen erfolgt im Kapitel 3. Neben der Beschreibung durch Differentialgleichungen werden Aspekte der Kleinsignalanalyse in gut verständlicher Form beschrieben. Anschließend folgen Ausführungen zum vereinfachten Entwurf von Oszillatoren unter Berücksichtigung nichtlinearer Systemeigenschaften durch Anwendung des sog. Schwinglinienverfahrens.
Das Kapitel 4 behandelt die interessierenden Oszillatoreigenschaften, wie Frequenz- und Amplitudenstabilität sowie Rauscheigenschaften. Mit frequenzvariablen Oszillatoren befaßt sich das Kapitel 5, und im Kapitel 6 werden Funktionsgeneratoren abgehandelt, bei denen die Zeitfunktion der Ausgangsspannung von Interesse ist. Anhang I enthält ergänzende Informationen zu Aufbau und Eigenschaften von Schwingkreisen, und Anhang II befaßt sich mit der modernen Technik zur Erzeugung akustischer Oberflächenwellen (AOW).
Dem Verfasser ist es mit der vorliegenden Broschüre gelungen, in kurzer und übersichtlicher Form eine praxisnahe Abhandlung von Oszillatoren zu geben. Die Darstellung der speziellen Schaltungstechnik erfolgte in textlich klaren Formulierungen, unterstützt durch zahlreiche bildliche Darstellungen. Zum Verständnis ist nur ein Mindestmaß an Vorkenntnissen erforderlich, so daß dem Leser eine Einarbeitung in diese spezielle Problematik nicht schwer fallen dürfte.
Die Broschüre ist sowohl für Studierende als auch für Entwickler auf dem relevanten Fachgebiet eine nützliche Ergänzung der Fachliteratur.

E. Lemke, Dresden EK 4152

TURBO PASCAL Version 5.5

Von *J. Lange*. Heidelberg: Hüthig Buch Verlag 1989. 309 Seiten, kart., DM 58,—

Objektorientierte Programmierung ist eine neuere Programmiertechnologie für die Entwicklung großer Systeme, die allerdings ihre wesentliche Vorbereitung durch das Klassenkonzept von SIMULA erfahren hat. In den letzten Jahren sind prozedurale und deskriptive Sprachen daraufhin untersucht worden, in wieweit sie sich für objektorientierte Programmierung eignen. In bezug auf TURBO PASCAL haben diese Untersuchungen zu einer erneuten Spracherweiterung geführt, die unter der Bezeichnung TURBO PASCAL 5.5 veröffentlicht wurde. Es sind nur wenige Sprachelemente in die Sprache neu aufgenommen worden. Ihre Sinnfälligkeit und die durch sie implementierten Möglichkeiten lassen sich aber mit wenigen Sätzen nicht beschreiben. So werden zwar in dem Buch die neuen Elemente syntaktisch und semantisch vorgestellt, man wünscht sich aber aussagekräftigere Beispiele. Objektorientierte Programmierung ist eine höhere Softwaretechnologie. Ihre Beschreibung und die Darstellung der Mittel, die den einen oder anderen Aspekt dieser Technologie unterstützen (Datenkapseln, Methodeninvokation, Vererbung), wird man in der Zukunft in Lehrtexten zur Programmierung mehr beachten müssen. Das rezensierte Buch stellt eine gute Einführung in TURBO PASCAL 5.0 dar. Es kann auch Anfängern zum Erlernen des Umgangs mit dem Programmiersystem dienen, es informiert auf 30 Seiten über die neuen Möglichkeiten in 5.5, so daß erfahrene Programmierer damit experimentell arbeiten könnten. Hervorgehoben seien noch die guten Zusammenstellungen in den Anhängen und das ausführliche Sachwörterverzeichnis.

G. Paulin, Berlin EK 4189

SPS — Programmieren mit LogiCAD

Von *M. Holder*. Heidelberg: Hüthig Buch Verlag 1989. 166 Seiten, 85 Abb., DM 38,—

Im vorliegenden Buch wird das Softwarepaket LogiCAD der österreichischen Firma Kirchner — Soft zur Programmierung und Inbetriebnahme speicherprogrammierbarer Steuerungen (SPS) vorgestellt, seine Handhabung ausführlich erläutert und seine Anwendung an einer Reihe von Beispielen beschrieben.
LogiCAD ermöglicht die grafische Programmierung von Steuerungsaufgaben mittels Logiksymbolen, die sich weitgehend nach der DIN-Norm 40700 richten. Dabei stehen sowohl binäre und digitale als auch organisatorische und regelungstechnische Module zur Verfügung. Für bestimmte Steuerungen sind darüber hinaus auch Sondersymbole verfügbar, welche die internen Befehle dieser Steuerungen besser interpretieren und ausnutzen. Zusätzlich besteht auch die Möglichkeit, bestimmte Befehlsstrukturen durch AWL-Module auszudrücken. Allerdings erlauben diese Module keinen Simulationsbetrieb am Bildschirm. Sämtliche Eingaben erfolgen im Grafikmodus über Maus bzw. Tastatur. Durch hierarchisch aufgebaute Menüs am Bildschirm sowie Funktionstastenausnutzung für oft wiederkehrende Befehle ist eine einfache und übersichtliche Handhabung gewährleistet. Der Effektivität der Programmerstellung kommt zugute, daß die Möglichkeit besteht, aus einzelnen bereits ausgetesteten Schaltungsteilen, z.B. für bestimmte öfter auftretende technologische Abläufe, Macros zu erstellen, die wie normale in der Dienstsoftware vorhandene Module im Zuge der Programmerstellung verwendbar sind.
Nachdem ein Programm erstellt ist, ist eine Off line-Simulation möglich, und zwar, je nach Ausbaustufe als Blattsimulation, welche die einfache und schnelle Funktionsüberprüfung von einzelnen Schaltungsteilen (Projektseiten) erlaubt und als Projekt-Simulation, die eine funktionelle Überprüfung des gesamten programmierten Schaltungsumfangs ermöglicht.
Nach Abschluß der Programmierung und Offline-Testung wird das fertige Programm durch einen Preprozessor in einen steuerungsunabhängigen Pseudo-Code (Zwischensprache) übersetzt und anschließend durch einen SPS-spezifischen Postprozessor in den steuerungsspezifischen Code überführt. Es steht sodann als sequentielle Programmdatei im ASCII-Format zur Hinterlegung im Anwenderprogrammspeicher der Zielsteuerung zur Verfügung. Die Portabilität der Anwenderprogramme zwischen verschiedenen SPS-Typen bzw. der Umstieg auf neue Steuerungsgenerationen wird durch dieses Zwischensprachkonzept günstig beeinflußt.
Zur Dokumentation wird das erstellte Programm als Funktionsplan (Logikplan) ausgegeben. Zusätzlich besteht die Möglichkeit, die AWL-Liste sowie eine Querverweisliste auszudrucken.
LogiCAD ist lauffähig auf allen IBM-PC [XT/AT] oder dazu kompatiblen PCs mit 640 KB RAM und Festplattenlaufwerk ab 10 MB. Zur Ausgabe der Dokumentation ist ein Matrixdrucker oder ein grafikfähiger Laserdrucker notwendig.
Das vorliegende Buch wendet sich an angehende Ingenieure und Techniker sowie an zukünftige Facharbeiter und Teilnehmer an entsprechenden Weiterbildungskursen. Es dürfte darüber hinaus allen SPS-Anwendern und Projektanten, die das Softwarepaket LogiCAD anwenden wollen, eine sehr förderliche Hilfe sein.

E. Habiger, Dresden EK 4206

Liebe Leser!

Bleiben Sie uns gewogen . . .

auch dann, wenn wir ab Juli 1990 den Preis für das Einzelheft unserer Fachzeitschrift von 2,50 M auf DM 8,00 erhöhen werden.
Das große Interesse, das uns nun der Leserkreis in deutschsprachigem Raum, die internationalen Fachleute und unsere östlichen Nachbarn entgegenbringen, verpflichtet uns, sie alle anspruchsvoller, ansprechender und schneller zu informieren. Diesem Anliegen stellen wir uns kostenbewußt und rechnen gerade jetzt mit Ihrem Verständnis.

Ihre Redaktion

Documentation

Budig, P.-K.; Chrapko, P.

To the Application of an Acceleration Sensor in Drive Systems

ELEKTRIE, Berlin 44 (1990) 6, pp. 205–206, 5 Figs., 13 Equations, 9 Refs.

A possibility of being able expanding the control area of feed drives is represented. To this an acceleration measurement is made for controlling the acceleration, which is drawn up, illustrated and studied.

Funke, H.

Loading the Synchronous Machine during Asynchronously Operating

ELEKTRIE, Berlin 44 (1990) 6, pp. 207–209, 10 Figs., 12 Equations

Synchronous motors have reached increased importance. Decidingly were beside the property of generating reactive power the nowaday improved stability during network and torque disturbances by using modern controlling, regulating and protecting devices. In connection with these disturbances the different asynchronous operating modes have a deciding influence. Specialities of the asynchronous running and the possibilities of computing them are further studied.

Haase, C.; Clemens, H.

Modelling Network Processes to Computer Aided Protection Testing with Dynamic Quantities

ELEKTRIE, Berlin 44 (1990) 6, pp. 210–212, 5 Figs., 6 Refs.

The stored and to a record office compiled real time processes are used to the computer aided protection testing in the laboratory, whereby network short-circuiting tests of very high costs are eliminated.

Gallas, W.

Quantitative Reliability Evaluating during Loading Ratios in the Value Region of Straying Withstand Ability

ELEKTRIE, Berlin 44 (1990) 6, pp. 213–217, 6 Figs., 16 Equations, 14 Refs.

The endeavour at increasing duty of basic means results in an approximation of loading and power loading quantities in the electric mains operation, especially in the disturbing case. This strategy forces evaluating the reliability development versus varying withstand ability values. A quantitative evaluating proposal is discussed.

Heilmann, P.-W.; Langer, W.

Working Area and Selection of the Rated Output of Vacuum Cleaners

ELEKTRIE, Berlin 44 (1990) 6, pp. 217–218, 2 Figs., 5 Refs.

In the single-spool motor blower units of vacuum cleaners the working air blast serves to cooling the drive motor. As testing loading point the medium input power is stated. The real working point in the real operation is far away from the rated testing point area into the direction of higher air masses. Derived from studies using the testing point at the half of the maximum air blast of the device is proposed.

Schult, U.; Thomae, M.

D.C. Motor without Commutator for Simple Drives of High Life

ELEKTRIE, Berlin 44 (1990) 6, pp. 219–223, 13 Figs., 1 Ref.

An electronic motor on base of the jaw pole principle is represented, which embodies for simple using cases as a function of the drive requirements a cost-reduced compromise between the essential electronic expenditure and the motor construction.

Schult, U.

Flat D.C. Motor for Electric Domestic Appliances

ELEKTRIE, Berlin 44 (1990) 6, pp. 224–226, 10 Figs., 2 Refs.

Studies of permanent field motors in the power range of 100 W with rectangular shaped magnets are represented, compared with the classically arranged magnetic circuit with segmentshaped magnets, and measures of improving the operating characteristic values by using rectangular shaped magnets are discussed.

Документация

Будиг, П.-К.; Храпко, П.

О применении сенсора ускорения в системах привода

ELEKTRIE, Берлин 44 (1990) 6, стр. 205–206, 5 рис., 13 уравн., 9 лит.

Представляется возможность расширения диапазона регулирования приводов подачи. Для этого производится измерение ускорения с целью регулирования ускорения, которое разрабатывается, представляется и исследуется.

Функе, Х.

Нагрузка синхронной машины в асинхронном режиме — синхронные электродвигатели

ELEKTRIE, Берлин 44 (1990) 6, стр. 207–209, 10 рис., 12 уравн.

Синхронные электродвигатели приобрели все большее значение. Решающим при этом были, помимо свойства генерирования реактивной мощности, улучшенная в сегодняшнее время стабильность при помехах сети и крутящего момента за счет применения современных приборов управления, регулирования и защиты. В связи с такими помехами решающую роль играют разные асинхронные режимы работы. Более подробно изучаются особенности асинхронного вращения и возможности их расчета.

Хаазе, К.; Клеменс, Х.

Моделирование сетевых процессов для автоматизированного при помощи ЭВМ испытания надежности защиты при помощи динамических величин

ELEKTRIE, Берлин 44 (1990) 6, стр. 210–212, 5 рис., 6 лит.

Записанные в память и собранные в общий архив динамические процессы в реальном времени используются для автоматизировнного при помощи ЭВМ лабораторного испытания надежности защиты, вследствие чего отпадает необходимость проведения дорогостоящих опытов с коротким замыканием в сети.

Галлас, В.

Количественная оценка надежности в режимах нагрузки в диапазоне разбросанны значений устойчивости при предельных значениях нагрузки

ELEKTRIE, Берлин 44 (1990) 6, стр. 213–217, 6 рис., 16 уравн., 14 лит.

Стремление к возрастающей загрузке основных средств ведет к приближению величин нагрузки и нагружаемости при работе с питанием от электрическои сети, в частности в случае помех, лакая стратегия делает необходимои оценку развития надежности в зависимости от вариирующихся значении устоичивости при предельных значениях нагрузки. Обсуждается предложение количественной оценки.

Хаильманн, П.-В.; Лангер, В.

Рабочии диапазон и выбор номинальной мощности для пылесосов

ELEKTRIE, Берлин 44 (1990) 6, стр. 217–218, 2 рис., 5 лит.

В одноконтурных воздуходувных блоках пылесосов рабочий поток воздуха служит для охлаждения приводного электродвигателя. Как точка испытательной нагрузки установлена средняя потребляемая мощность. Действительная рабочая точка при реальной работе находится далеко за пределами диапазона номинальной испытательной точки в сторону больших количеств воздуха. На основе проведенных испытаний предлагается установить испытательную точку при половине максимального потока воздуха прибора.

Шульт, У.; Томае, М.

Бесколлекторный двигатель постоянного тока для простых приводов высокой долговечн сти

ELEKTRIE, Берлин 44 (1990) 6, стр. 219–223, 13 рис., 1 лит.

Представляется электронный двигатель, построенный по принципу когтеобразных полюсов, обеспечивающий для простых случаев применения и в зависимости от требований к приводу выгодный в отношении затрат компромисс между необходимым расходом электронных РЗ и конструкцией двигателя.

Шульт, У.

Плоский двигатель, постоянного тока для электрических бытовых приборов

ELEKTRIE, Берлин 44 (1990) 6, стр. 224–226, 10 рис., 2 лит.

Представляются исследования двигателей с постоянным полем в диапазоне мощностей 100 В с магнитами в виде прямоугольного параллелепипеда по сравнению с выполненным по классическому принципу магнитным контуром с сегментными магнитами и поясняются меры, направленные на улушение рабочих параметрое в случае применения магнитов в виде прямоугольного параллелелипеда.

Dokumentation

Budig, P.-K.; Chrapko, P.

Zur Anwendung eines Beschleunigungssensors in Antriebssystemen

ELEKTRIE, Berlin 44 (1990) 6, S. 205–206, 5 Bilder, 13 Gln., 9 Lit.

Es wird eine Möglichkeit vorgestellt, den Regelbereich von Vorschubantrieben erweitern zu können. Hierzu erfolgt eine Beschleunigungsmessung zum Zwecke der Regelung der Beschleunigung, die ausgearbeitet, vorgestellt und untersucht wird.

Funke, H.

Beanspruchung der Synchronmaschine im Asynchronbetrieb — Teil II: Synchronmotoren

ELEKTRIE, Berlin 44 (1990) 6, S. 207–209, 10 Bilder, 12 Gln.

Synchronmotoren haben an Bedeutung gewonnen. Ausschlaggebend waren neben der Eigenschaft der Blindleistungserzeugung die heute verbesserte Stabilität bei Netz- und Drehmomentstörungen durch den Einsatz moderner Steuer-, Regel- und Schutzgeräte. Im Zusammenhang mit diesen Störungen spielen die verschiedenen asynchronen Betriebsarten eine entscheidende Rolle. Es werden Besonderheiten des Asynchronlaufs und die Möglichkeiten ihrer Berechnung näher untersucht.

Haase, C.; Clemens, H.

Modellierung von Netzvorgängen zur rechnergestützten Schutzprüfung mit dynamischen Größen

ELEKTRIE, Berlin 44 (1990) 6, S. 210–212, 5 Bilder, 6 Lit.

Die abgespeicherten und zu einem Archiv zusammengestellten dynamischen Echtzeitvorgänge werden zur rechnergestützten Schutzprüfung im Labor verwendet, so daß Netzkurzschlußversuche mit sehr hohen Kosten entfallen.

Gallas, W.

Quantitative Zuverlässigkeitsbewertung bei Belastungsverhältnissen im Bereich streuender Stehvermögenswerte

ELEKTRIE, Berlin 44 (1990) 6, S. 213–217, 6 Bilder, 16 Gln., 14 Lit.

Das Bestreben einer steigenden Grundmittelauslastung führt zur Annäherung von Belastungs- und Belastbarkeitsgrößen im elektrischen Netzbetrieb insbesondere im Störungsfall. Diese Strategie zwingt zur Bewertung der Zuverlässigkeitsentwicklung in Abhängigkeit von variierenden Stehvermögenswerten. Ein quantitativer Bewertungsvorschlag wird diskutiert.

Heilmann, P.-W.; Langer, W.

Arbeitsbereich und Auswahl der Nennleistung bei Staubsaugern

ELEKTRIE, Berlin 44 (1990) 6, S. 217–218, 2 Bilder, 5 Lit.

In den einkreisigen Motorbläseeinheiten von Staubsaugern dient der Arbeitsluftstrom zur Kühlung des Antriebsmotors. Als Prüfbelastungspunkt wurde die mittlere Aufnahmeleistung festgelegt. Der tatsächliche Arbeitspunkt im realen Betrieb liegt weit außerhalb des Nennprüfpunktbereichs in Richtung höherer Luftmengen. Aus Untersuchungen abgeleitet wird vorgeschlagen, den Prüfpunkt bei halbem maximalen Luftstrom des Gerätes zu verwenden.

Schult, U.; Thomae, M.

Kollektorloser Gleichstrommotor für einfache Antriebe hoher Lebensdauer

ELEKTRIE, Berlin 44 (1990) 6, S. 219–223, 13 Bilder, 1 Lit.

Es wird ein Elektronikmotor nach dem Klauenpolprinzip vorgestellt, der für einfache Anwendungsfälle in Abhängigkeit von den Antriebsforderungen einen kostengünstigen Kompromiß zwischen dem notwendigen Elektronikaufwand und der Motorkonstruktion darstellt.

Schult, U.

Flacher Gleichstrommotor für Elektrohaushaltgeräte

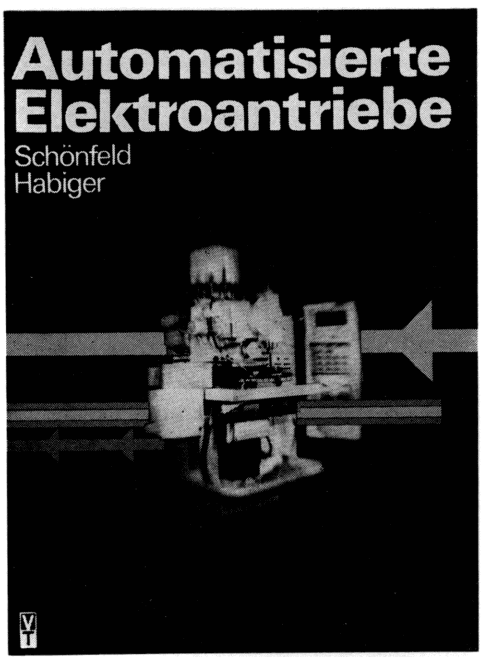
ELEKTRIE, Berlin 44 (1990) 6, S. 224–226, 10 Bilder, 2 Lit.

Es werden Untersuchungen an Permanentfeldmotoren im Leistungsbereich von 100W mit quaderförmigen Magneten im Vergleich zum klassisch angeordneten Magnetkreis mit segmentförmigen Magneten vorgestellt und Maßnahmen zur Verbesserung der Betriebskennwerte bei Verwendung von quaderförmigen Magneten erläutert.

ELEKTRIE

Herausgeber	Kammer der Technik, Fachverband Elektrotechnik
Verlag	Verlag Technik DDR-1020 Berlin, Oranienburger Str. 13/14 Telegrammadresse: Technikverlag Berlin Telefon: 28700; Telex: 0112228 techn. dd
Verlagsdirektor	Dipl.-Ing. *Klaus Hieronimus*
Redaktion	Dr.-Ing. *Klaus Heide*, Verantwortlicher Redakteur (Telefon: 2870345) Dipl.-Ing. *Fritz Heinecke*, Redakteur (Telefon: 2870343)
Lizenz-Nr.	1100 des Presse- und Informationsdienstes der Regierung der DDR
Gesamtherstellung	III/18-328 Messedruck Leipzig, BT Borsdorf 7122 Borsdorf
Gestaltung	*Ursula Maria Lange*
Anzeigenannahme	Für Bevölkerungsanzeigen alle Anzeigen-Annahmenstellen in der DDR, für DDR-Wirtschaftsanzeigen (Anzeigenpreisliste Nr. 8) sowie für Auslandsanzeigen (Mediadaten auf Aufforderung) Verlag Technik, Oranienburger Str. 13/14, PSF 201, Berlin, 1020, Telefon: 2870254/2870291.
Erfüllungsort und Gerichtsstand	Berlin-Mitte. Der Verlag behält sich alle Rechte an den von ihm veröffentlichten Aufsätzen und Abbildungen, auch das der Übersetzung in fremde Sprachen, vor. Auszüge, Referate und Besprechungen sind nur mit voller Quellenangabe zulässig.
AN (EDV)	6730
Erscheinungsweise	monatlich 1 Heft
Heftpreis	2,50 M, Abonnementpreis vierteljährlich 7,50 M. Auslandspreise sind den Zeitschriftenkatalogen des Außenhandelsbetriebes BUCHEXPORT zu entnehmen.
Bezugsmöglichkeiten DDR	sämtliche Postämter
SVR Albanien	Direktorije Quendrore e Perhapjes dhe Propaganditit te Librit Rruga Konference e Pezes, Tirana
VR Bulgarien	Direkzia R. E. P., 11a, Rue Paris, Sofia
VR China	China National Publications Import and Export Corporation, West Europe Department, P. O. Box 88 Beijing
ČSFR	PNS — Ústřédni Expedicia a Dovoz Tisku Praha, Slezská 11, 120000 Praha 2 PNS, Ústredna Expedicia a Dovoz Tlače Praha, Posta 022, 88547 Bratislava
SFR Jugoslawien	Jugoslovenska Knjiga, Terazije 27, Beograd; Izdavačko Knjižarsko Produzéće MLADOST, Ilica 30, Zagreb
Koreanische DVR	CHULPANMUL Korea Publications Export & Import Corporation, Pyongyang
Republik Kuba	Empresa de Comercio, Exterior de Publicationes, O'Reilly No. 407, Cuidad Habana
Republik Polen	C. K. P. i. W. Ruch, Towarowa 28, 00-958 Warszawa
Rumänien	D. E. P. Bucaresti Piata Scinteii, Bucaresti
UdSSR	Städtische Abteilungen von Sojuzpečat' oder Postämter und Postkontore
Republik Ungarn	P. K. H. I., Külföldi Elöfizetési Osztály, P. O. Box 16, 1426 Budapest
SR Vietnam	XUNHASABA 32, Hai Ba Trung, Ha Noi
BRD und Berlin (West)	ESKABE Kommissions-Grossobuchhandlung, Postfach 36, 8222 Ruhpolding/Obb.; Helios Literatur-Vertriebs-GmbH, Eichborndamm 141–167, Berlin (West) 52; Kunst und Wissen Erich Bieber OHG, Postfach 46, 7000 Stuttgart 1; Gebrüder Petermann, BUCH+ZEITUNG INTERNATIONAL, Kurfürstenstraße 111, Berlin (West) 30
Österreich	Helios Literatur-Vertriebs-GmbH & Co. KG, Industriestraße B 13, Brunn am Gebirge
Schweiz	Verlagsauslieferung Wissenschaft der Freihofer AG, Weinbergstr. 109, 8033 Zürich
Alle anderen Länder	örtlicher Fachbuchhandel; BUCHEXPORT Volkseigener Außenhandelsbetrieb der Deutschen Demokratischen Republik, DDR-7010 Leipzig, Postfach 160; und Leipzig Book Service, DDR-7010 Leipzig, Talstraße 29

Auslieferung in diesen Tagen



Im Fachbuchhandel erhältlich

Automatisierte Elektroantriebe

Von Prof. Dr.-Ing. habil. Rolf Schönfeld und Prof. Dr.-Ing. habil. Ernst Habiger
3., stark bearbeitete Auflage. 524 Seiten, 380 Bilder, 90 Tafeln, Leinen, 40,—M; 52,—DM.
Bestellangaben: 554 091 6/Schönfeld, El.-Antriebe

Die dritte Auflage des Fachbuches behandelt in bewährter Weise die wichtigsten Arbeitsprinzipien und Probleme der Regelung und Steuerung automatisierter Elektroantriebe. Aus dem Zusammenwirken leistungselektronischer Stellglieder mit den Arbeitsmaschinen werden Lösungen zur Auswahl und Dimensionierung der Antriebssysteme abgeleitet. Die Überarbeitung berücksichtigt hauptsächlich rechnerunterstützte Entwurfsmethoden und Probleme der digitalen Regelung.

Aus dem Inhalt:

Grundlagen des Entwurfs automatisierter Antriebssysteme Grundzüge einer systematischen Entwurfsstrategie. Problemanalyse und Präzisierung der Aufgabenstellung. Auswahl von Prinziplösungen. Dimensionierung des Antriebssystems. Erarbeitung der Systemunterlagen für Fertigung, Prüfung und Betrieb

Drehzahlsteuerbare Gleichstromantriebe Zustandsanalyse und Simulation des Gleichstromantriebs. Betrieb bei kontinuierlicher Stromführung. Betrieb bei diskontinuierlicher Stromführung. Reversierbetrieb. Betrieb von Gleichstromantrieben am Netz. Schalt- und Havarievorgänge, Schutz. Gleichstromantriebe mit selbstkommutierten Stromrichtern

Drehzahlsteuerbare Drehstromantriebe Betriebsverhalten der Drehfeldmaschine in feldorientierter Darstellung. Ständerfrequenzsteuerung (über Pulswechselrichter mit stromeinprägender Regelung, über Direktumrichter, über stromeinprägende und über spannungseinprägende Wechselrichter). Antriebe mit Ständerspannungssteuerung. Antriebe mit Läuferspannungssteuerung

Regelung elektrischer Antriebssysteme Stromregelung in Gleichstrom- und Drehstromantrieben. Feldorientierte Steuerung und Regelung von Drehfeldmaschinen. Drehzahl- und Lageregelungen. Steuerung von Bewegungsabläufen. Optimierung des Reglers. Entwurf der Regeleinrichtung

Beschreibung, Projektierung und Realisierung der Steuereinrichtungen Steuerungstechnische Begriffe, Aufgaben und Grundstrukturen. Steuerobjekte. Steuereinrichtungen. Projektierung und Realisierung von Steuerungssystemen. Beispiele für Steuerungssysteme in der Antriebstechnik

Gewährleistung von Zuverlässigkeit, Sicherheit und Umgebungsverträglichkeit Maßnahmen zur Gewährleistung hoher Verfügbarkeitswerte. Maßnahmen zur Gewährleistung höchstmöglicher Sicherheit. Maßnahmen zur Gewährleistung der Umgebungsverträglichkeit.

Grundlagen der Konstruktion

Lehrbuch für Elektroingenieure
Elektronik · Elektrotechnik · Gerätetechnik

Herausgegeben von Prof. Dr.-Ing. habil. Werner Krause
6., stark bearbeitete Auflage. 276 Seiten, 339 Bilder, 63 Tafeln, Leinen, 20,—M; 28,—DM.
Bestellangaben: 554 052 9/Krause, Konstruktion

Das Buch soll Ingenieure elektronischer Fachrichtungen befähigen, die Arbeitsweise von Geräten mit mechanischen, elektromechanischen und elektronischen Baugruppen schnell zu erfassen und anzuwenden. Die 6. Auflage wurde vollständig neu überarbeitet.

Aus dem Inhalt:

Der konstruktive Entwicklungsprozeß Ablauf und Methoden des Konstruierens. Rechnerunterstütztes Konstruieren

Grundlagen der Konstruktionsarbeit Gestalten von Bauelementen. Vorzugszahlen und -maße, Normzahlen und -maße. Toleranzen und Passungen. Werkstoffwahl

Statik und Festigkeitslehre

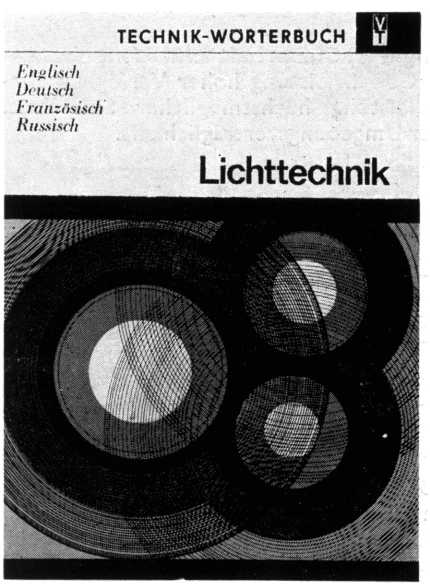
Mechanische Verbindungselemente und -verfahren
Elektrische Leitungsverbindungen Funktion und Aufbau. Leitungselemente. Verbindungselemente und -verfahren. Verdrahtungen
Federn · Achsen und Wellen · Lager · Geradführungen · Kupplungen · Zahnrad- und Zugmittelgetriebe

VERLAG TECHNIK BERLIN

ISSN 0013—5399
ELEKTRIE · Berlin 44 (1990) 6 · S. 201—240

6730 6 177 027 465
KOMB KERAM WERKE
8612 7001 0136 PF 1

FACHWÖRTERBÜCHER FÜR SIE



TECHNIK-WÖRTERBUCH

Lichttechnik

Englisch-Deutsch-Französisch-Russisch

Herausgegeben von Dr.-Ing. Ralf Zimmermann
1. Auflage. 428 Seiten, Leinen, 45,—M; 72,—DM. Kürzlich erschienen.
Bestellangaben: 553 768 8/Zimmermann, Lichttechnik
Mit etwa 11 000 fachspezifischen Wortstellen aus folgenden Gebieten:

Grundlagen der Lichttechnik

Physikalische Grundlagen. Strahlungsgrößen und -begriffe. Physiologische Grundlagen. Lichttechnische Größen und Begriffe. Farbmetrische Größen und Begriffe

Lichterzeugungstechnik

Strahlungsgesetze für Oberflächen- und Volumenstrahler. Thermische Festkörperstrahler (Glühlampen). Niederdruck-Gasentladungslampen, Leuchtstofflampen. Hochdruck-Gasentladungslampen. Elektrolumineszenzstrahler

Licht-, Strahlungs- und Farbmeßtechnik

Methodik (Normale, Meßprinzipien, Schwächungsmethoden). Visuelle und physikalische Fotometrie. Integrale Lichtmessungen. Spektrale Strahlungsmessungen. Farbmessungen

Beleuchtungstechnik

Berechnungsunterlagen. Beleuchtungsanforderungen. Beleuchtungsausrüstung (Leuchten, Lampenschaltungen, Zubehör, Starter, Vorschaltgeräte). Beleuchtungsarten (direkt, indirekt, außen, innen, Sonderprobleme). Lichttechnische Baustoffe. Optische Lichttechnik

Strahlungsempfänger

Aufbau, Prinzip, Eigenschaften. Thermische Strahlungsempfänger. Fotoelektrische Strahlungsempfänger. Hilfs- und Zusatzgeräte für Strahlungsempfänger. Schaltungstechnik.

TECHNIK-WÖRTERBUCH

Elektrotechnik · Elektronik

Russisch-Deutsch

Herausgegeben von der Technischen Universität Dresden, Sektion Angewandte Sprachwissenschaft. Zusammengestellt von einem Autorenkollektiv unter Leitung von Dipl.-Sprachlehrer Helmut Gross
5., stark bearbeitete Auflage. Etwa 800 Seiten, Leinen, etwa 90,—M; etwa 90,—DM. Erscheint in diesen Tagen.
Bestellangaben: 554 184 7/Gross, Wb. Elektro R-D

Mit etwa 64000 Wortstellen aus allen Gebieten der Elektrotechnik einschließlich der Elektronik und Nachrichtentechnik.

TECHNIK-WÖRTERBUCH

Künstliche Intelligenz

Englisch-Deutsch und Deutsch-Englisch

Zusammengestellt von Dr. rer. nat. Werner Kolbe
1. Auflage. 236 Seiten, Pappband, 30,—M; 30,— DM. Erscheint in diesen Tagen.
Bestellangaben: 554 152 1/Kolbe, Wb. Intelligenz

Mit je etwa 6500 Wortstellen über Problemlösungssysteme, Suche und Wissensrepräsentation, lernende Systeme, automatisches Programmieren, Programmiersprachen der KI, Spielprogramme, intelligente Roboter, Mustererkennung (Bilderkennung, Sprachverstehen), Theorembeweise, Expertensysteme.

Auslieferung durch den Fachbuchhandel

VERLAG TECHNIK BERLIN